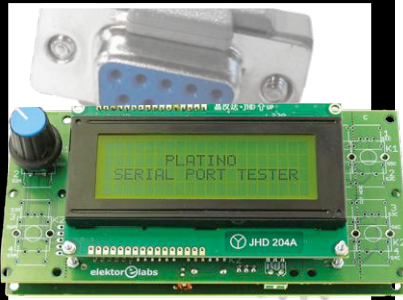




# elektor

LEARN → DESIGN → SHARE

## ESP32 Design Contest 2018



**Platino universele  
Serial Bus Tester**  
oplossing voor seriële  
communicatieproblemen



**EMC-storingen  
door LED-lampen**  
metingen aan  
14 exemplaren



**RF Power Meter**  
meet tot 10 GHz



**€ 2500  
aan prijzen!**

## Stuur in en win!

**DCF77-emulator** • Draadloze waterniveaumeter  
• **EMC-storingen door LED-lampen** • Graveer-  
machines getest • **IC voor USB-acculaders** •  
KiCad • **Klokkenspel voor zandklok** • Multitimer  
• **Nixie-buizen** • Platino universele Serial Bus  
Tester • **Potentiaalvrij stroom meten** • Privé-cloud  
met RPi • **Retrotronica: de HP650A** • RF Power Meter  
• **Softstart voor labvoeding** • Supercaps • **Timers voor  
desktop-thermostaat** • Zuinige ESP32

**In deze uitgave:  
8 lab-projecten,  
3 lezersprojecten,  
KiCad, supercaps  
en meer..**



# Dat lange wachten op het programmeren beu?

MPLAB® ICD 4 debugger en programmer van de volgende generatie programmeert 2x zo snel!



Door gebruik te maken van een 300 MHz 32-bit MCU met een buffergeheugen van 2 MB, programmeert de MPLAB® ICD 4 tweemaal zo snel als zijn voorganger. Snelheid en flexibiliteit zijn de meest belangrijke factoren bij het kiezen van een foutzoekhulpmiddel. De MPLAB ICD 4 reduceert wachttijd—en als gevolg daarvan verbetert de productiviteit bij het opsporen van fouten. Dankzij snelheid, compatibiliteit, duurzaamheid, indrukwekkende componentondersteuning en de bekroonde MPLAB X IDE, komt met de MPLAB ICD 4 uw ontwerp binnen no-time uit de verf!

- ▶ Tweemaal zo snel fouten opsporen in vergelijking tot de ICD 3
- ▶ Robuuste metalen behuizing met goed zichtbaar indicatielampje
- ▶ Breder doelspanningsbereik dan de ICD 3
- ▶ Optionele stroom van 1A voor het doelsysteem
- ▶ Programmeerbare afregeling van de foutzoeksnelheid voor optimaal programmeren
- ▶ 4-draads JTAG compatibel



MPLAB ICD 4  
(DV164045)

**microchip**  
**DIRECT**  
[www.microchipdirect.com](http://www.microchipdirect.com)

 **MICROCHIP**

[www.microchip.com/ICD4](http://www.microchip.com/ICD4)

## Colofon

58<sup>e</sup> jaargang nr. 646,  
maart/april 2018  
ISSN 0013-5895

Elektor is een uitgave van

### Elektor International Media B.V.

Postbus 11, 6114 ZG Susteren, Nederland  
Tel.: +31 (0)46- 4389444,  
Fax: +31 (0)46-4370161

### Nieuwe abonnementen & bestellingen

service@elektor.nl Tel. 046-4389444

Elektor International Media B.V. legt gegevens vast voor de uitvoering van de (abonnements) overeenkomst. De door u verstrekte gegevens kunnen gebruikt worden om u te informeren over relevante diensten en producten. Stelt u daar geen prijs op, dan kunt u dit schriftelijk doorgeven aan:

Elektor International Media B.V.,  
Afdeling Customer Service  
Postbus 11, 6114 ZG Susteren.

Of per email: service@elektor.nl

In overeenstemming met de Wet bescherming persoonsgegevens zijn de verwerkingen van persoonsgegevens aangemeld bij de toezichthouder, Autoriteit Persoonsgegevens te Den Haag.

Druk: Senefelder Misset, Doetinchem  
Distributie: Betapress, Gilze

### Advertenties Benelux

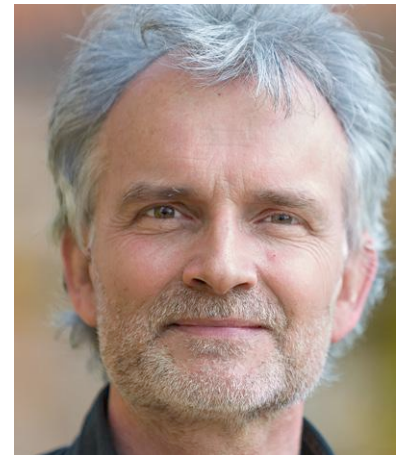
Julia Grotenrath  
Tel.: 046 – 43 89 436  
E-Mail: julia.grotenrath@eimworld.com

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewezen gedepeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewezen is op aanvraag kosteloos verkrijgbaar.

### Auteursrecht

Niets uit deze uitgave mag veevoudig en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De auteursrechtelijke bescherming van Elektor strekt zich mede uit tot de illustraties met inbegrip van de printed circuits, evenals de ontwerpen daarvoor. In verband met artikel 30 van de Rijkssoctrooiwet mogen de in Elektor opgenomen schakelingen slechts voor particuliere of wetenschappelijke doeleinden vervaardigd worden en niet in of voor een bedrijf. Het toepassen van de schakelingen geschiedt buiten de verantwoordelijkheid van de uitgever. De uitgever is niet verplicht ongevraagd ingezonden bijdragen, die hij niet voor publicatie aanvaardt, terug te zenden. Indien de uitgever een ingezonden bijdrage voor publicatie aanvaardt, is hij gerechtigd deze op zijn kosten te (doen) bewerken. De uitgever is tevens gerechtigd een bijdrage te (doen) vertalen en voor haar andere uitgaven en activiteiten te gebruiken tegen de daarvoor bij de uitgever gebruikelijke vergoeding.

© Elektor International Media B.V. - 2018



## Goede raad

Tijdens vakbeurzen als *embedded world* en *electronica* maak ik dankbaar gebruik van de gelegenheid om een praatje te maken met Elektor-lezers. En zolang het over elektronica gaat, gaan steevast ook anderen aan het gesprek deelnemen, en dan is het altijd fijn te zien hoe gemakkelijk professionals informatie uitwisselen en andere standpunten en voorkeuren respecteren. Een groot verschil met vooral de jongere garde van elektronicaliefhebbers, die in een sociaal isolement terecht dreigen te komen omdat ze (zo geloven ze tenminste) gewapend met een laptop en een pizza onoverwinnelijk zijn — van snel en moeiteloos een schakeling ontwerpen tot eeuwige YouTube-roem vergaren.

Nou is een laptop een geweldig hulpmiddel en voor elektronici een verplichte investering, maar de conversatie ermee blijft beperkt tot af en toe een piepje, of het 'blauwe scherm des doods' en ondoordringelijke foutmeldingen. Elektronica leer je uit handboeken, publicaties, bakken met componenten — en van mensen. Probeer maar eens — een doodenkele uitzonder(ing) daargelaten zul je merken dat mensen vriendelijker, vergevingsgezinder en inspirerender zijn dan de gemiddelde laptop met WiFi en een berg CAD-tools.

Een andere uitstekende plek om met de elektronicapraktijk in aanraking te komen schijnt (tenminste hier in het Westen) helemaal verdwenen te zijn: de elektronicawinkel-om-de-hoek, waar je gratis les kreeg in componentenpraat — *torren, in/uit, blindganger, ceetje, opgeblazen, geranium, HV* (hoogspanning), *veertig-zeventien* enzovoort. Een paar van die termen worden nog altijd in nieuwsgroepen gebruikt — ter meerdere eer en glorie van de schrijver. Vroeger was het in zo'n onderdelenwinkel helemaal niet ongebruikelijk dat klanten die op hun beurt wachtten adviezen uitwisselden of roddelden over projecten uit een zeker tijdschrift waar 'nooit iets van deugde', of 'zeker weten, is equivalent, alleen wat groter'.

Ondanks de enorme toename van de technobabbel over elektronica in de huidige nieuwsgroepen en forums, wekt de teneur van sommige berichten bij mij de indruk dat de deelnemers dat gevoel van saamhorigheid missen dat elektronica als hobby vriendschappelijk naast de beroepswereld laat bestaan.

### Jan Buiting

#### Ons team

Hoofdredacteur:	Thijs Beckers (thijs.beckers@eimworld.com)
Internationale redactie:	Jan Buiting, Jens Nickel, Mariline Thiebaut-Brodier
Technische redactie:	Ton Giesberts, Luc Lemmens, Denis Meyer, Clemens Valens, Jan Visser
Aan dit nummer werkten mee:	Jelle Aarnoudse, Rolf Blijleven, Eric Bogers, Kees de Groot, Martien Jansen, Evelien Snel
Ledenmanagement:	Chantalle Reuling (chantalle.reuling@eimworld.com)
Vormgeving & Layout:	Giel Dols, Mart Schroyen, Patrick Wieters
Hoofd Online:	Daniëlle Mertens
Directeur:	Don Akkermans

## in dit nummer

58<sup>e</sup> jaargang – nr. 646

maart/april 2018

- 6 **Elektor Video Olympics**  
...en de winnaars zijn...
- 21 **Vreemde onderdelen**  
Tektronix Readout System
- 30 **Shop-highlight**  
From Russia with love...
- 48 **V & A**  
Nixie-buizen
- 60 **ESP32 Design Contest 2018**  
doe mee en win!
- 61 **HomeLab Helicopter**
- 80 **Tips en trucs**  
van lezers voor lezers
- 98 **Escaped from the labs**  
Powerbank-verrassing
- 110 **Elektor Connexions**
- 122 **Project 2.0**  
correcties, updates en brieven van lezers
- 123 **Retrotronica**  
De HP650A sinusgenerator
- 128 **Elektor Store**
- 130 **Hexadoku**

## achtergrond & info

- 12 **EMC-storingen door LED-lampen**  
metingen aan 14 exemplaren
- 32 **Zuinige ESP32**  
de programmering  
van de ULP-coprocessor
- 51 **Graveermachines getest**  
deugen die goedkope lasergaveermachines  
uit China?
- 64 **KiCad**  
een echte krachtpatser
- 94 **Supercaps**  
weinig spanning en veel stroom...  
of toch niet?
- 104 **Accu's correct laden**  
over batterijtypen en oplaadstrategieën
- 112 **Condensatoren die zichzelf opladen**  
hoed u voor diëlektrische absorptie
- 126 **Elektor Ethiek**  
internetcensuur tijdens  
het Catalaanse referendum

# Een wolk in de vorm van een framboos

## installeer een *cloud* in uw huiskamer

## EMC-storingen door LED-lampen metingen aan 14 exemplaren



Meer dan 100 jaar gold de vergelijking "kunstlicht = gloeilamp". Maar de geringe lichtopbrengst van gloeilampen heeft de EU ertoe gebracht ze in de ban te doen. Spaarlampen zijn weliswaar efficiënter, maar slecht bestand tegen vaak in- en uitschakelen en met hun hoge kwikgehalte zijn ze nu ook niet direct milieuvriendelijk. Toen LED-lampen goedkoper werden, werd duidelijk dat dit de ideale opvolger was.

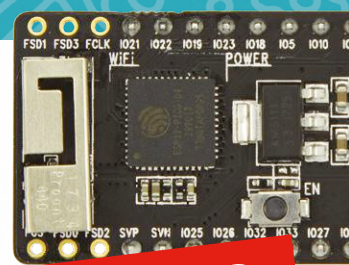
Mooi geregeld toch?

Zeker, maar er zijn ook berichten over door LED-lampen veroorzaakte stoorstraling. Voor Elektor reden om dat tot op de bodem uit te zoeken.

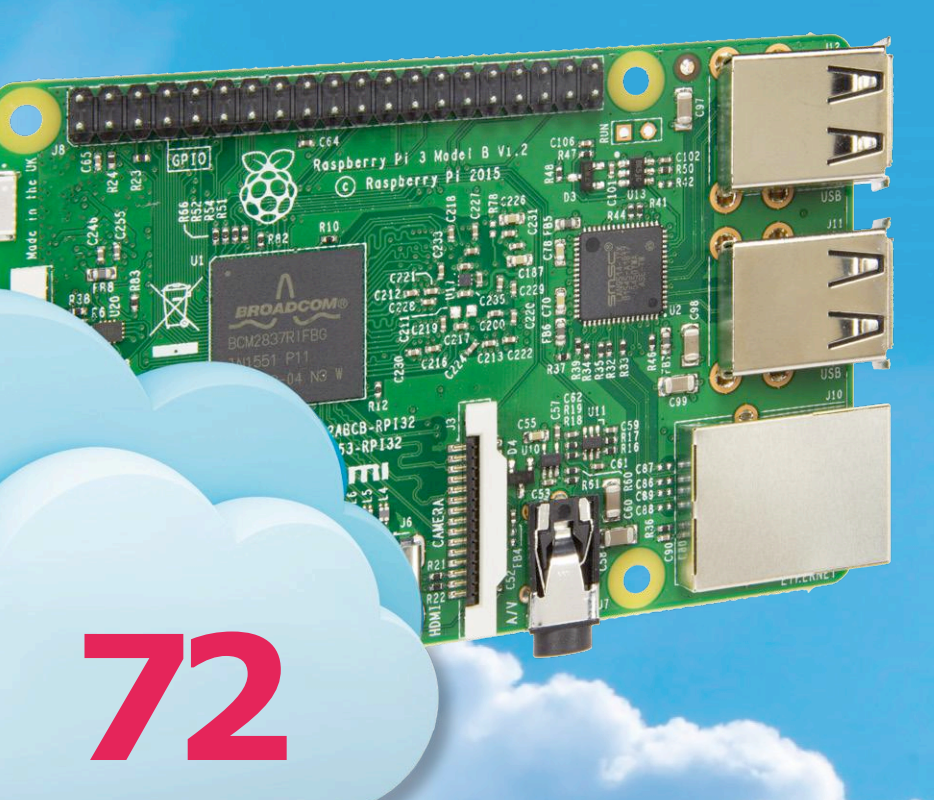
## projecten

- 8 **Universeel IC voor USB-acculaders**  
zespins eenvoudig  
in plaats van microcontroller
- 22 **DCF77-emulator met ESP8266**  
internettijd vervangt draadloze tijd
- 26 **Multitimer**  
schakelt tot 16 kanalen

# ESP32



**€ 2.500  
aan prijzen!**



- 72 Een wolk in de vorm van een framboos**  
installeer een *cloud* in uw huiskamer
- 82 Draadloze waterniveaumeter**  
voor een kostbaar goed
- 86 Platino universele Serial Bus Tester**  
oplossing voor seriële  
communicatieproblemen
- 100 Timers voor de WiFi desktop-  
thermostaat**  
zeven kanalen met atoomprecisie
- 116 Stroomomzetter voor oscilloscoop**  
potentiaalvrij meten

## RF Power Meter

meet tot 10 GHz

Het gebruik van radiobesturingen voor modelvliegtuigen en dergelijke is terecht aan strenge regels onderworpen. Dat geldt niet alleen voor de frequentie waarop wordt uitgezonden, maar ook en vooral voor het vermogen dat de ether wordt ingeslingerd. Met deze RF-vermogensmeter kunt u eenvoudig controleren met welk vermogen u zendt, en dat voor frequenties tot 10 GHz.

# 42



## binnenkort

### Elektor Magazine mei/juni 2018

Eenvoudige LC-meter • Platino-batterijtester • LoRa-telemetrieprojecten • Experimentele Doppler-radar • Wearable LED-controller • GPS-gebaseerde 10-MHz-referentie • CPLD-print als DIL-component • FPGA-starterkits • IoT-broeikas • DAB/DAB+ radio • EM-storingen door LED-strips • Wekker met 3 displays • Lichtkrant met ESP8266 • Floranium • en nog veel meer.

Aankondigingen onder voorbehoud.  
Het mei/juni 2018 nummer verschijnt op 19 april 2018.

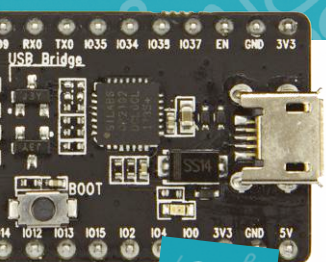
### Elektor Business Magazine 2/2018

#### Industrie 4.0 & Automatisering

Elektor Business Magazine 2/2018 heeft de focus op Industrie 4.0 en automatisering. Aan dit nummer is meegewerkt door bedrijven en onderzoeksinstituten als Microchip, Mathworks, Atollic, AEG Power Solutions, Unitronic, LoRa Alliance, SecureRF, OSRAM en Avnet Silica. Plus natuurlijk nieuwe afleveringen van de vaste EMB-rubrieken zoals Infographics, Operation Marketing, Our Business en Business Store.

Elektor Business Magazine editie 2/2018 verschijnt op 11 april 2018 in druk voor Elektor Gold-leden en als pdf-download voor Elektor Green-leden. Het nummer is ook te koop via [www.elektormagazine.com](http://www.elektormagazine.com). Aankondigingen onder voorbehoud.

## Design Contest 2018



# 60

- 39 Klokkenspel voor de Elektor-zandklok**  
schudden, rammelen en piepen
- 42 RF Power Meter**  
meet tot 10 GHz
- 56 Softstart**  
spaart voeding en belasting

# Elektor Video Olympics



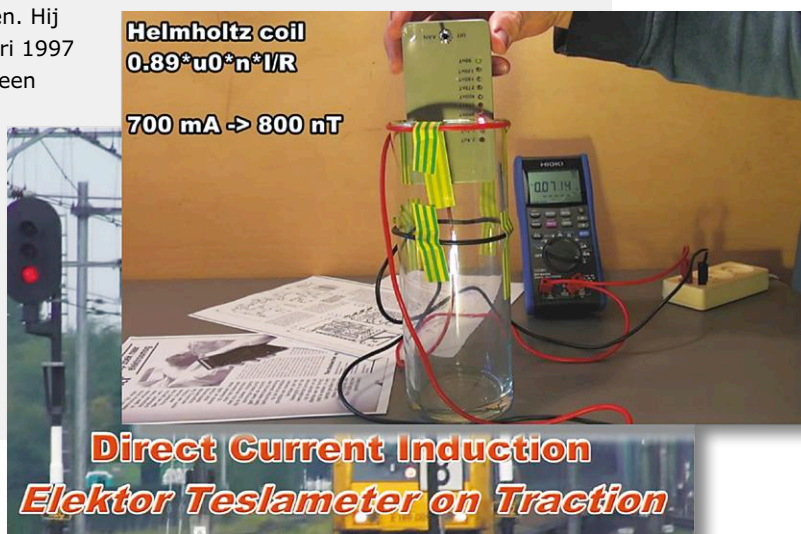
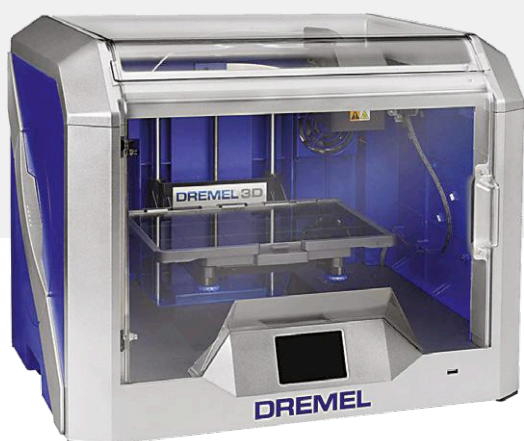
In het september/oktober-nummer 2017 van Elektor hebben we met hooggespannen verwachtingen de Elektor Video Olympics aangekondigd — en alle Elektorianen uitgedaagd een video over een Elektor-project te maken en in te sturen. Om het voor de deelnemers extra aantrekkelijk te maken, hadden we bovendien voor enkele spectaculaire prijzen gezorgd...

Nou, dat hebben we geweten! We hebben in totaal zegge en schrijve alles bij elkaar een ongelooflijke vier (vier!) inzendingen mogen ontvangen, waarvan we er één meteen hebben moeten diskwalificeren (zie verderop). Kennelijk zijn Elektor-lezers (m/v) liever met de soldeerbout bezig dan met de camera.

Dat betekent natuurlijk ook dat we van de beschikbare prijzen alleen de eerste (en grootste) drie hebben uitgereikt — eigenlijk was het de bedoeling dat de jury uit de vijftien inzendingen met de meeste 'likes' zou kiezen. Na rijp beraad heeft de jury de prijzen als volgt toegekend:

## Hoofdprijs

De inzending 'Direct Current Traction — Elektor Teslameter on Traction' van **Mark van Helvoort** (Nederland) is in totaal meer dan 1000 maal bekeken. In deze video maakt Mark aanschouwelijk dat de Nederlandse treinen en trams, die op gelijkstroom lopen, storingen in andere schakelingen en apparaten kunnen veroorzaken. Hij gebruikte daarvoor de Elektor Teslameter die in januari 1997 in Elektor is gepubliceerd. Die hoofdprijs is overigens een Dremel 3D Idea Builder 3D40, een luxe 3D-printer met een winkelwaarde van € 1449.

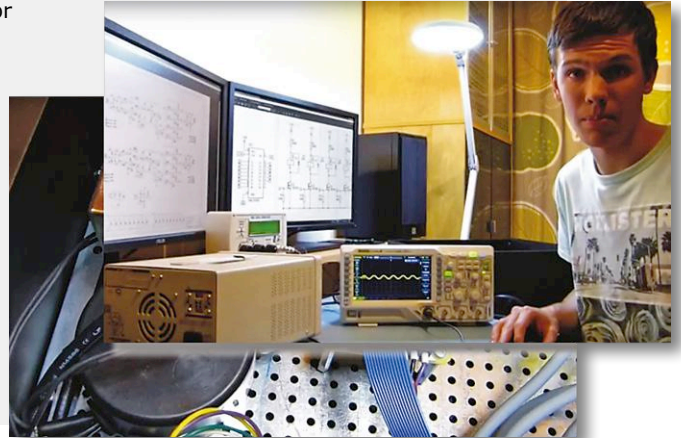


Hoofdprijs: <https://youtu.be/ZWnuH0qdly0>

## Eerste prijs

De inzending van **Alexander Becker** (Oostenrijk) over zijn Elektor Preamp is iets meer dan 550 maal bekeken. In deze video laat Alexander zien hoe hij zijn high-end Elektor-voorversterker (waarvan de eerste aflevering in april 2012 in Elektor is gepubliceerd) heeft opgebouwd en van enkele nuttige extra's heeft voorzien. De jury was bijzonder onder de indruk van de voorbeeldige manier waarop de voorversterker was opgebouwd. De eerste prijs

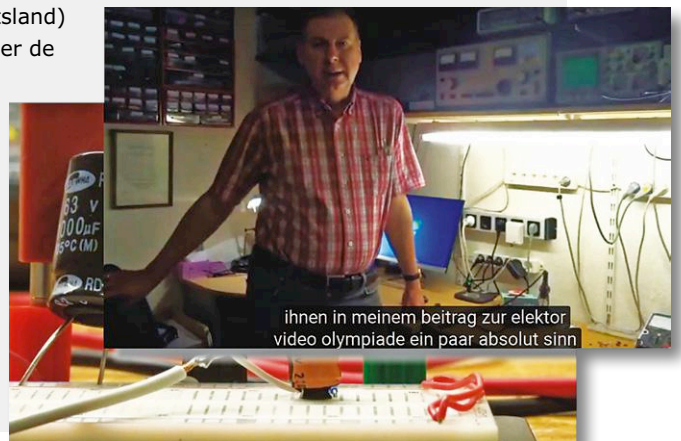
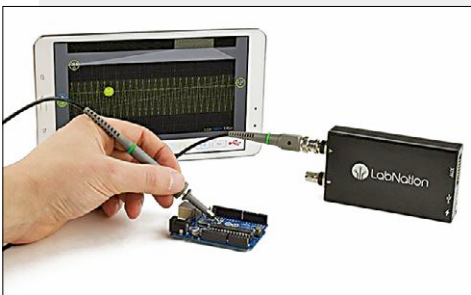
bestaat uit een PicoScope 2208B 100-MHz-oscilloscoop met een winkelwaarde van € 1099.



Eerste prijs: <https://youtu.be/3TOsPorZKx4>

## Tweede prijs

In zijn video 'Elektor Scherzartikel' neemt **Rainer Schuster** (Duitsland) een aantal van de beroemde (of beruchte) 'grapschakelingen' onder de loep waarmee de Elektor-redactie in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw de jaarlijkse Halfgeleidergids opleukte. De inzending van Rainer is iets meer dan 400 maal bekeken. Vooral onze Retrotronica-redacteur Jan Buiting was gecharmeerd van deze inzending. Voor wie het niet meer weet: de tweede prijs was een LabNation SmartScope Maker Kit met een winkelwaarde van € 300.



Tweede prijs: <https://youtu.be/2f75IK12Wjo>

## Buiten mededinging

Medewerkers van Elektor en hun familieden waren uiteraard van deelname uitgesloten. Niettemin heeft onze lab-goeroe **Clemens Valens** een video gemaakt die vooral als inspiratie voor potentiële deelnemers moest dienen, en waarin Darth Vader (of all people) de MicroTesla Music Synthesizer (uit het januari/februari-nummer 2018) aanprijst — compleet met muziek en titels à la Star Wars.

**Darth Vader is gediskwalificeerd**  
<https://youtu.be/I2Lc8gIPMWk>



Alle medewerkers van Elektor wensen de winnaars veel plezier met hun prijzen!  
Over de uitslag kan niet worden gecorrespondeerd. ◀

(160562)

# Universeel IC voor USB-acculaders

## zespins eenvoud in plaats van microcontroller

Tam Hanna (Slowakije)

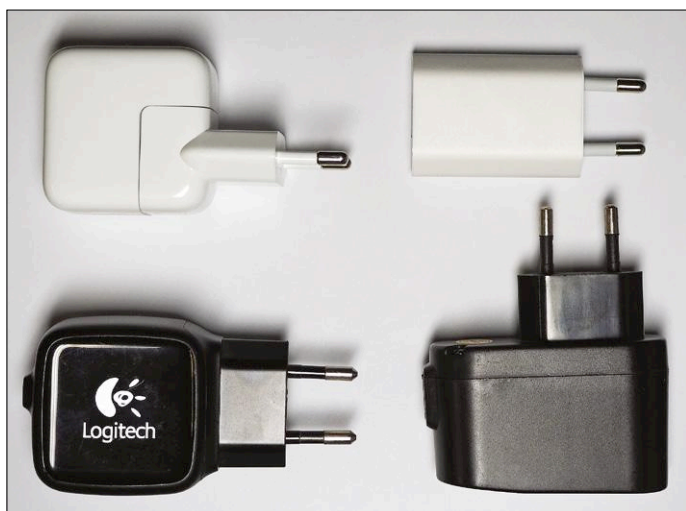
Als we aan het stoeien zijn met microcontrollers, SoC's, LC-displays en touchscreen-controllers, willen we soms ook een goedkoop tablet of smartphone aansluiten. Maar dan moeten we wel een manier bedenken om dat apparaat te voeden. En wie denkt zelf even een USB-laadapparaat in elkaar te zetten, komt van een koude kermis thuis. Het volstaat namelijk niet om de voedingslijnen van een USB-bus aan +5 V en massa te leggen. Als we ons erin gaan verdiepen, ontdekken we al snel dat er wel een half dozijn verschillende specificaties voor laders bestaan. En als niet wordt voldaan aan de specifieke eisen van het apparaat waar we mee werken, dan mislukt het laadproces. Maar er bestaat een IC met maar zes pinnen dat uitkomst biedt...

Zoals gezegd, zelf een 5-V-acculader voor mobiele apparaten bouwen is een stuk lastiger dan je zou verwachten. Mobiele apparaten zijn veeleisend en willen meer aan hun oplaadkabel hebben dan alleen 5 V. Het is mooi dat tegenwoordig bijna alle mobiele apparaten 5 V verdragen en kunnen worden opgeladen uit een USB-laadapparaat (zie de collectie in **figuur 1**), maar naast de voedingslijnen moeten ook de datalijnen van de USB-poort op de juiste wijze worden aangestuurd, anders haalt het mobiele apparaat zijn neus op voor de aangeboden energie. Wat er dan precies voor spanningen op de datalijnen moeten staan, verschilt van fabrikant tot fabrikant, zodat we te maken hebben met een wildgroei die de zaak nodeloos ingewikkeld maakt (zie **figuur 2**).

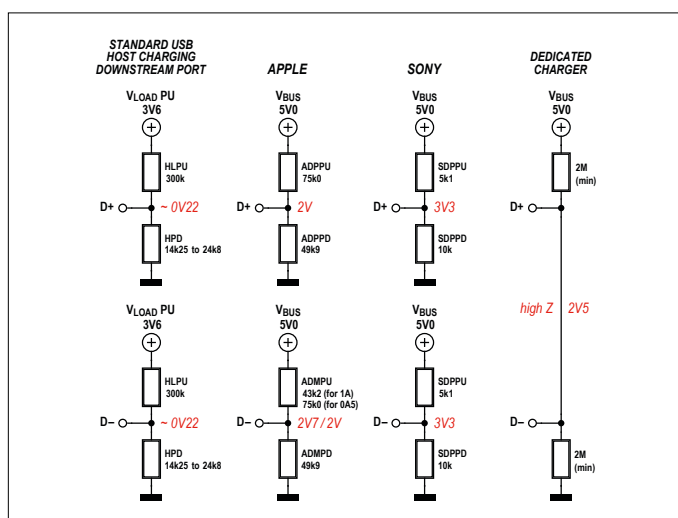
### Een wirwar van specificaties

Het is ook geen optimale oplossing om de hardware dan maar aan te passen aan de specifieke eisen van de apparaten die we hier en nu willen aansluiten. Voor je het weet is dat mobiele apparaat verouderd en wordt het vervangen, terwijl we onze zelfgebouwde hardware misschien nog jaren willen blijven gebruiken. Om te voorkomen dat we de elektronica later weer moeten aanpassen aan de eisen van nieuwe mobiele apparaten, is een zo universeel mogelijke laadpoort een veel betere oplossing.

Er zijn verschillende manieren om een USB-laadapparaat te bouwen zonder een microcontroller om het laadproces te bestu-



Figuur 1: Verschillende USB-acculaders. Van linksboven: Apple 10-W-lader voor iPads, Apple 5-W-lader voor iPhones, 5-W-lader van Logitech, merkloze 5-W-lader.



Figuur 2: Smaken verschillen: verschillende fabrikanten stellen ook verschillende eisen aan de spanningen die op de signaallijnen van de USB-poort moeten staan. (Bron: Maxim)



## Technische gegevens

- Laadstroom: 1 A (5 W) en 2 A (10 W)
- Spanning: 5 V
- Specificatie: DCP versie 1.2
- Behuizing: SMD SOT23, zespolig.

ren. Volgens de DCP-specificatie (in dit geval versie **Dedicated Charging Port 1.2**) zou de verbinding tussen de differentiële datalijnen er uit moeten zien zoals in **figuur 3**. We zien hier het samenspel tussen een mobiel apparaat (links) en een geschikt laadapparaat (rechts) dat werkt volgens de DCP-standaard. Helaas houden niet alle fabrikanten zich aan die specificatie, en sommigen doen dat zelfs heel bewust: bij Apple bijvoorbeeld maakt men gebruik van een speciale spanningsdeler (zie figuur 2). Als de verwachte spanningen niet beschikbaar zijn op de signaallijnen gaat het opladen niet eens beginnen! Waarom Apple dat doet? Natuurlijk om te garanderen dat alleen de acculaders van hoge kwaliteit die Apple zelf produceert in combinatie met de dure Apple-apparaten gebruikt kunnen worden. Met andere woorden: Apple wil ook bij de oplaadapparaten graag alles in eigen hand houden.

### 6 pinnen zijn genoeg

Texas Instruments is natuurlijk al sinds jaar en dag actief op het gebied van voedingen. Het is dus geen wonder dat TI ook een oplossing voor ons probleem heeft: IC'tjes uit de TPS251X-serie. Dit is een speciale reeks IC's voor de USB-poort. Ze analyseren bij het opstarten de differentiële signaallijnen en bieden het aangesloten mobiele apparaat dan de gewenste configuratie aan.

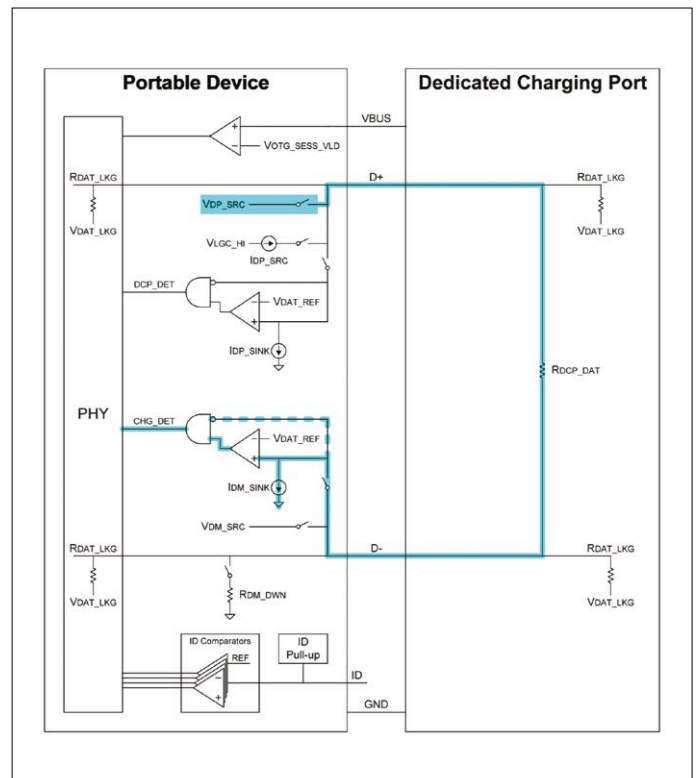
Technisch gesproken is het gebruik van deze IC's bijna een fluitje van een cent. Als u zo'n IC wilt inzetten in uw eigen projecten, moet u erop letten dat het IC het mobiele apparaat via de datalijnen mededeelt, of de 5-V-spanningsbron aan de andere kant van het IC de gebruikelijke 5 W levert of ook de power-modus met een vermogen van 10 W ondersteunt (**figuur 4**).

In de beschrijving van het IC wordt trouwens helemaal geen aandacht besteed aan het onderwerp stroombegrenzing. TI heeft daarvoor ook een IC in het assortiment, de TPS2561A, maar een bespreking daarvan valt buiten het kader van dit artikel. We moeten ons gewoon aan een eenvoudige regel houden: wat we het mobiele apparaat 'beloven' via de TPS251X, moeten we ook kunnen leveren.

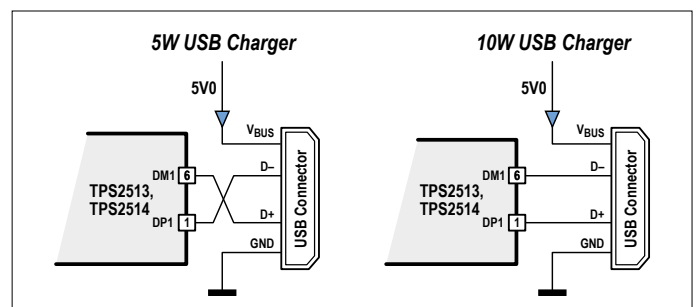
### Uitproberen

De onderdelen zijn met hun zes aansluitingen niet alleen heel simpel, ze zijn ook extreem klein, want TI levert ze uitsluitend in het SMD-formaat SOT23. Voor knutselen en uitproberen is dat niet echt ideaal. Ook al is zo'n IC, zelfs voor de auteur die last heeft van trillende handen, met wat moeite nog met de hand te solderen, is het voor experimenten toch beter om het op een break-out-printje te zetten. Zo ontstaat een module waaraan we gemakkelijk en zonder kortsluiting draden kunnen vast solderen. De auteur heeft een gemakkelijk verkrijgbaar adapterprintje van Aries gebruikt (**figuur 5**).

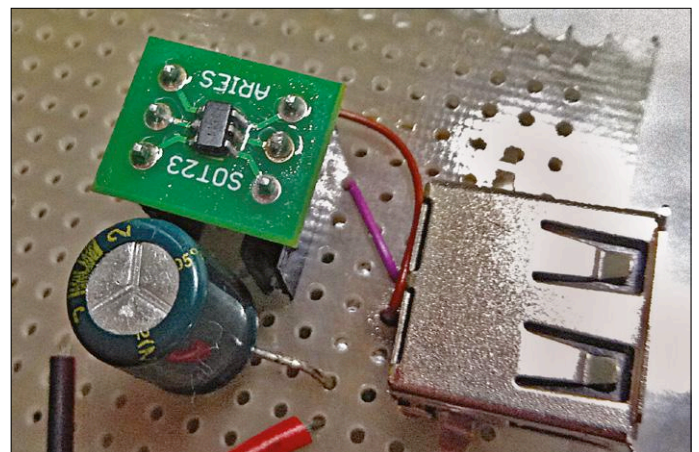
Daarna is de module op een stuk gaatjesprint gezet. Maar let op: de meeste USB-chassisdelen moeten worden bewerkt voordat we ze kunnen vast solderen. Wie omwille van de stevigheid



Figuur 3: Een mobiel apparaat (links) aangesloten op een DCP-conforme oplaadpoort (rechts). (Afbeelding: USB Implementers Forum [1].)



Figuur 4: Afhankelijk van de manier van aansluiten melden de IC's een vermogen van 5 W of 10 W aan het mobiele apparaat.



Figuur 5: Break-out-board voor een SMD-behuizing in SOT23-formaat; door Aries voorzien van het TI-IC.

de retainers (de lipjes aan de afscherming van de USB-bus) wil gebruiken, moet eerst passende gaten in de print boren, wat zonder kolomboormachine nog best lastig kan zijn.

Dan de elektronica: TI raadt in de documentatie met klem aan om een keramische condensator tussen de pennen 'DM' en 'DP' te monteren. Dat is een heel goed advies. Je weet tenslotte nooit wat voor spanningspieken de aangesloten apparaten kunnen veroorzaken en waardoor het IC beschadigd zou kunnen worden.

De energie halen we voorlopig uit een willekeurige labvoeding. De auteur gebruikte daarvoor een HP 6624A. De spanning wordt ingesteld op 5 V en de stroombegrenzing op 3 A. Gezien de vrij grote stroom mogen de draden niet te lang en te dun zijn, anders wordt de spanningsval te groot. Desnoods kunnen we de spanning iets hoger instellen, namelijk op precies 5,1 V (niet meer dan dat!). Nu kunnen we een mobiel apparaat aansluiten.

Het eerste testapparaat was een BlackBerry Q10: die is erg kieskeurig als het om oplaadapparaten gaat. Bij het aansluiten verscheen dan ook meteen de foutmelding dat de oplaadkabel ongeschikt zou zijn voor de BlackBerry Q10 en daarom alleen langzaam laden mogelijk was. Maar die melding verdween binnen enkele seconden, en op de ampèremeter van de labvoeding was te zien dat er 1 A werd afgenomen. Dus toch! Er werd duidelijk 'snel' geladen.

Ook een Kindle Fire van de levensgezellin van de auteur deed niet moeilijk: een stroomopname van 1,6...1,8 A was een duidelijk bewijs dat de energie uit deze bron hem erg goed smaakte.

## Troubleshooting

USB-schakelingen kunnen voor veel ergernis zorgen. Dat komt onder meer omdat de spannings toleranties van de USB-specificatie krap zijn, terwijl door de grote stromen ook het gevaar bestaat dat er een flinke spanningsval in de kabels en de printsporen optreedt, waardoor er te weinig spanning overblijft.

## Gebruik geen kroonsteentjes!

Kroonsteentje tussen de laadelektronica en de netvoeding veroorzaken bij een grote stroom al gauw een spanningsval van enkele honderden millivolt. De aangesloten apparaten zijn dan beledigd: die interpreteren dat, geheel conform de specificaties, als een aansporing om het laadproces te stoppen of te vertragen (zie **figuur 6**).

## Bezuinig niet op de kabel!

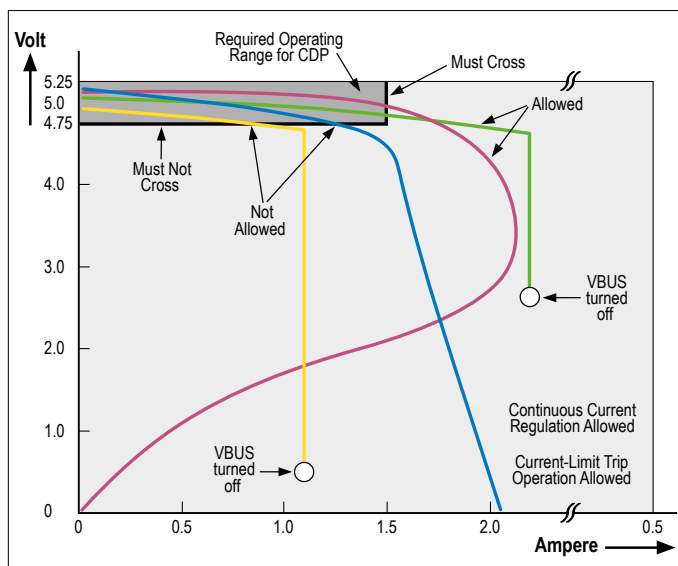
Een tweede bron van ergernis zijn minderwaardige microUSB-kabels. Als de draden te dun zijn of de kabel te lang, levert dat een te grote weerstand op. De spanningsval over de kabel maakt dan dat er te weinig spanning aankomt bij het mobiele apparaat, waardoor dit in een langzamere oplaadmodus schakelt dan nodig is.

## Conclusie

Wie een USB-laadapparaat bouwt voor een specifiek apparaat, hoeft niet per se gebruik te maken van dit IC uit de keuken van TI. Maar zoals al opgemerkt aan het begin van dit artikel: het is in veel gevallen toch de moeite waard, want zoveel werk is het niet en het IC kost maar ongeveer 2 €, dus dat valt mee. Met het inzetten van deze zespoter kan uw schakeling een

## Vier typen

Texas Instruments biedt vier verschillende IC's aan in de TPS251X-serie. De TPS2513X-serie kan twee oplaadpoorten aansturen, terwijl de TPS2514X-serie maar één poort kan voeden. De types met de suffix -A- verschillen van de varianten zonder suffix in de op de spanningsdeler aanwezige spanningen: sommige smartphones en tablets hebben een 12-W-oplaadmodus, die alleen door de A-serie wordt ondersteund. De gedetailleerde specificaties zijn te vinden in de bijbehorende datasheets [2].



Figuur 6: Toelaatbare condities voor het laden met verschillende stromen bij een USB-laadapparaat. (Bron: www.usb.org)

hoop flexibiliteit winnen. Bij de auteur helpen de IC's bij een concreet project: hij werkt op het ogenblik aan een procesorkaart die via WLAN data klaarzet voor een normaal tablet.

Met het oog op de toekomstbestendigheid en de flexibiliteit voor de aan te sluiten hardware is daarom de oplaadpoort opgezet met behulp van dit echt universele IC, want TI biedt met de TPS-251X-serie ondersteuning voor vrijwel alle belangrijke normen. ◀

(160360)

## Weblinks

[1] [http://composter.com.ua/documents/BC1.2\\_FINAL.pdf](http://composter.com.ua/documents/BC1.2_FINAL.pdf)

[2] <http://goo.gl/wxSyJV>



## IN DE STORE

→ USB-break-out-board voor experimenten met USB  
[www.elektor.de/usb-breakout](http://www.elektor.de/usb-breakout)



## OPTIMALE RESULTATEN! – OOK ONDER BARRE OMSTANDIGHEDEN: NIEUWE DIGITALE MULTIMETER

### Robuuste digitale multimeter met led-lampje

Optimaal geschikt voor het dagelijks gebruik in de buitendienst in de service-, bouw- en industriesector alsmede voor de ambitieuze thuisgebruiker.

- Automatische verlichting van de functietoetsen en van de draaikeuzeschakelaar
- Sterke ledlamp voor meetstationverlichting
- 3 5/6-cijferige meetwaardeweergave (6000 tellingen)
- Lc-display met relatieve waardemeting en 42-segments staafdiagram
- Doorgangsmeting met zoemer en diodetest

PeakTech®



EN 61010-1  
CAT IV 600 V

EN 61010-1  
CAT III 1000 V

Bestelnr.: PEAKTECH 3443

NIEUW **67,22**



### OOK BIJ COMPLETE DUISTERNIS TE GEBRUIKEN!



Toetsenverlichting +  
geïntegr. werklicht:  
PEAKTECH 3443 en  
PEAKTECH 3445

### Robuuste digitale multimeter met Bluetooth

Zoals PeakTech 3443 met deze extra kenmerken:

- True RMS-meting
- Bluetooth-interface voor de verbinding met uw Android-smartphone



Bestelnr.: PEAKTECH 3445

**92,43** NIEUW

Levering zonder smartphone



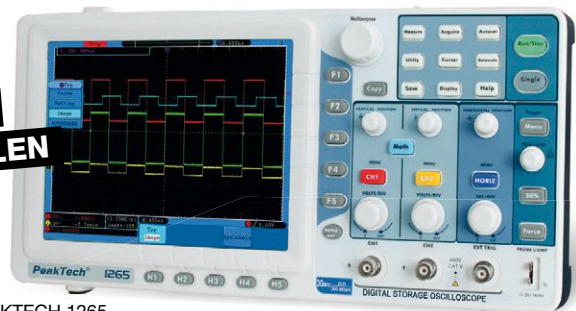
### Digitaal-geheugen-oscilloscoop

PeakTech®

Digitale geheugenoscilloscoop van de nieuwste generatie met een hoge-resolutie kleuren display, achtergrondverlichting, hoge bandbreedte en sampling rate, groot intern datageheugen en USB-aansluiting.

- VGA-uitgang voor het aansluiten van een externe monitor
- LAN-aansluiting voor toegang op afstand via het netwerk
- 20 cm (8") TFT-kleurendisplay

**30 MHz**  
**2 KANALEN**



Bestell-Nr.: PEAKTECH 1265

**266,22** BEST SELLER

# EMC-storingen door LED-lampen

## metingen aan 14 exemplaren

Alfred Rosenkränzer (Duitsland)



Meer dan 100 jaar gold de vergelijking “kunstlicht = gloeilamp”. Maar de geringe lichtopbrengst van gloeilampen heeft de EU ertoe gebracht ze in de ban te doen. Spaarlampen zijn weliswaar efficiënter, maar slecht bestand tegen vaak in- en uitschakelen en met hun hoge kwikgehalte zijn ze nu ook niet direct milieuvriendelijk. Toen LED-lampen goedkoper werden, werd duidelijk dat dit de ideale opvolger was. Mooi geregeld toch?

Zeker, maar er zijn ook berichten over door LED-lampen veroorzaakte stoorstraling. Voor Elektor reden om dat tot op de bodem uit te zoeken.





**Tabel 1. Overzicht van de LED-lampen.**

#	Fabrikant	Typeaanduiding	Vermogen	Lumen	Lm/W	Gewicht	Flikkeren	f1	VHF	HF
0	Osram	Gloeilamp	60,0 W	710	11,8	23 g	ja			
1	Osram	AB48940	9,5 W	806	84,8	43 g	—			
2	Blaupunkt	ILUA70-16WB B P	16,0 W	1521	95,1	72 g	—			
3	Philips	A60 7W12430	7,0 W	806	115,1	41 g	weinig			
4	Müller Licht	400006	5,5 W	470	85,5	34 g	ja			
5	Müller Licht	Retro LED 400223	4,0 W	470	117,5	17 g	—			
6	Osram	LED Star Classic A60	7,0 W	806	115,1	29 g	—			
7	Toom	G60	10,0 W	806	80,6	63 g	—			
8	Opplé	LED-EG50-E27	6,5 W	470	72,3	82 g	—			
9	Sygonix	TLK-A60-806PM	9,5 W	806	84,8	94 g	—			
10	IKEA	Ryet 1000	11,5 W	1000	87,0	72 g	—			
11	IKEA	LEDARE 600	8,6 W	600	69,8	78 g	ja			
12	IKEA	Ryet 400	5,0 W	400	80,0	40 g	—			
13	IKEA	LEDARE 1000	13,0 W	1000	76,9	122 g	ja			
14	B1	LED-lamp	8,8 W	806	91,6	52 g	—			



De spaarlamp was — zoals al opgemerkt — slechts een korte periode van succes vergund. Niet alleen was het gehalte aan schadelijke stoffen problematisch, ook waren de kwaliteit van het licht en het schakelgedrag suboptimaal. Na inschakelen duurde het even voordat ze op volle kracht brandden. Ook viel de levensduur tegen als ze vaak werden in- en uitgeschakeld. Ze werden dan ook min of meer van de markt geveegd toen rendement en vermogen van LED-lampen verbeterden en de prijs afnam. Inmiddels zijn ze in vele uitvoeringen, fittingen en kleurtemperaturen verkrijgbaar. Na inschakelen branden ze (doorgaans) direct op volle kracht, vaak schakelen deert ze nauwelijks en van de levensduur kun

je alleen maar vrolijk worden, afgezien van verdacht goedkope ramsproducten. LED-lampen zijn dus milieuvriendelijk en economisch tegelijk. Eigenlijk reden tot tevredenheid en om ons over andere problemen druk te gaan maken, toch?

### Problemen?

Begin september 2017 ontving Elektor van een lid van de DARC (Deutscher Amateur-Radio-Club) de tip, dat een toename kon worden vastgesteld van EMC-storingen van omroep/amateur-radio/WiFi als gevolg van LED-lampen. Elektor heeft dit in een online-bericht vermeld [1]. Alleen al in het Duitstalig gebied is dit bericht inmiddels meer dan 100.000 keer aangeklikt!

Eind 2017 publiceerde de DARC op zijn website een overzicht van spectraalmetingen aan een aantal lampen van verschillende merken [2] en in het verenigingstijdschrift CQ DL werd een artikel met meetresultaten gepubliceerd (editie 10/2017). Het Duitse equivalent van de Consumentenbond had LED-lampen weliswaar al wel onder de loep genomen, maar niet getest met betrekking tot mogelijke storingen. Reden voor Elektor om hier dieper in te duiken: voor dit artikel hebben wij 14 LED-lampen aan de tand gevoeld. Bovendien geven we een paar tips hoe je zonder uitgebreid meetinstrumentarium zelf kunt vaststellen of — en zo ja in welke mate — je LED-lampen het HF-spectrum vervuilen.

## Vooraf

Eerst zijn op internet, bij Ikea en in een lokale bouwmarkt 13 verschillende LED-lampen met E27-fitting gekocht. Daar kwam nog een extra lamp bij van een geïnteresseerde collega. Deze 14 lampen zijn als afspiegeling van vele andere lampen onderzocht. Er zijn lampen bij van gerenommeerde fabrikanten, maar ook een naamloos exemplaar en een huismerk van een bouwmarkt. Deze selectie is weliswaar niet geheel representatief, maar geeft wel een goede indruk van wat er op dit moment zoal te koop is. **Tabel 1** toont een overzicht van de onderzochte lampen, met hun belangrijkste eigenschappen, maar ook een indicatie van het kwalitatieve resultaat van de metingen in de kleuren **goed**, **kan ermee door**, **matig**, **slecht**.

Daarmee is echter nog lang niet alles verteld. Omdat elektronici principieel — en terecht — nieuwsgierig zijn naar het hoe, wat en waarom, geven we in de rest van dit artikel de achtergronden van de meetmethoden en een hele reeks oscillogrammen.

## Storingen

Het is goed om eerst duidelijk te maken welke storingen kunnen ontstaan en waarom. Ons lichtnet levert een vrijwel sinusvormige wisselspanning van 230 V<sub>eff</sub> met een frequentie van 50 Hz. Idealiter dus zuivere LF zonder storende harmonischen. In werkelijkheid echter zijn er dimmers, elektromotoren en schakelende PC-voedingen en dergelijke die er samen met de ohmse en inductieve aandelen van de huisbekabeling voor zorgen dat de mooie sinusvorm in meer of mindere mate wordt vervormd. Dat heeft een spectrum aan hogere harmonischen tot gevolg, tot ver in het hoogfrequent gebied. Deze harmonischen beïnvloeden apparaten die zijn aangewezen op een storingsvrije HF voor hun informatie- of dataverwerking. Hier doelen we met name op ontvangers voor amateurradio. In het pre-hightech tijdperk waren er weinig stoorbronnen. De gewone gloeilamp bestond in feite uit niets meer dan een ohmse draadweerstand, waarin de erdoor vloeiende stroom sinusvormig bleef en niet vervormde. Ook aan zaken als faseverschuiving bezondigde de gloeilamp zich in zijn korte leven niet.

Bij LED-lampen echter is alles anders: zoals bekend worden LED's met een constante stroom aangestuurd, omdat ze in de buurt van hun nominale stroom een

zeer lage differentiële weerstand hebben en bovendien een negatieve temperatuurcoëfficiënt. In het eenvoudigste geval nivelleert men beide effecten door de LED via een geschikte serieweerstand op een wat hoger dan noodzakelijke spanning aan te sluiten. De doorlaatspanning van een witte hoogvermogen-LED ligt rond de 3,3 V. Met voorschakelweerstand kan een dergelijke LED simpel en zonder gevaar worden aangesloten op een spanningsbron van 5 V. Maar omdat op deze wijze bijna een derde van het opgenomen vermogen door de weerstand in warmte wordt omgezet, is deze aanpak alleen geschikt voor kleine LED's, bijvoorbeeld signaallampjes. Maar let op: in vrijwel elke bouwmarkt worden LED-strips aangeboden die bestaan uit een parallelschakeling van steeds drie LED's en een voorschakelweerstand en die op 12 V worden aangesloten. Hierin wordt zo'n 20% van de toegevoerde energie in warmte omgezet.

We kunnen zonder meer stellen dat deze simpele aansluiting van LED's op constante spanningen qua rendement suboptimaal is, maar EMC-technisch onberispelijk, omdat op deze wijze geen stromen worden vervormd en dus ook geen HF wordt uitgestraald. Maar LED-lampen en hun fabrikanten maken natuurlijk liever indruk met hoge rendementen. En daarom komt de truc met de voorschakelweerstand in normale lampen vrijwel niet voor. De meeste moderne LED-lampen maken gebruik van schakelende netvoedingen. En dat is precies waar de problemen beginnen!

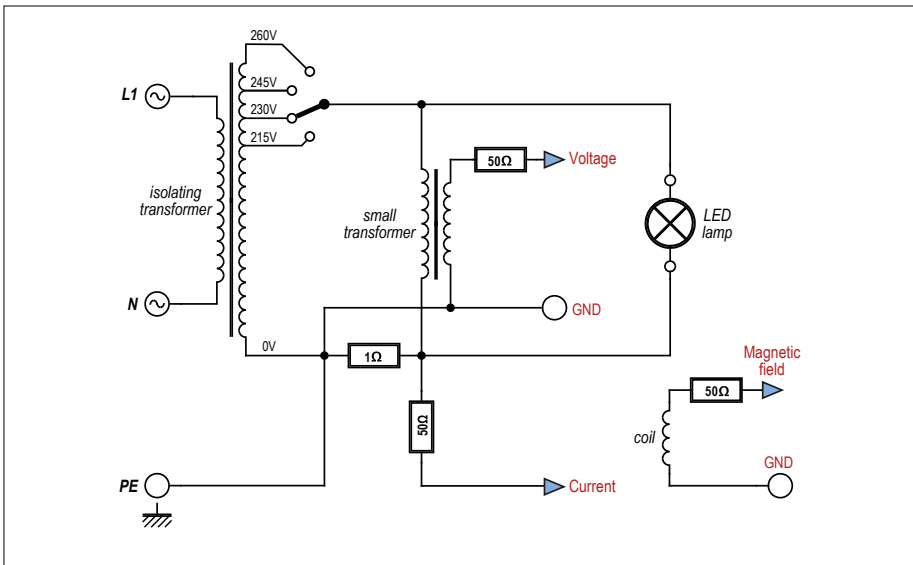
## Netvoeding

Eerst een uitzondering: in het artikel 'Overall LED's!' in Elektor januari 2016 [3] heeft Thomas Scherer de in **figuur 1** getoonde LED-lamp gepresenteerd, die hem als 10-W-lamp was verkocht. Als deze niet tijdens het transport in het doosje uit elkaar was gevallen, zou hij niet eens hebben gemerkt welk een eigenaardig product hij had gekocht: hier is niet alleen de schakelende netvoeding uitgespaard en vervangen door een simpele condensator, het is ook duidelijk te zien dat de lamp eigenlijk als 7-W-exemplaar geproduceerd is... Het voordeel van deze kostenbesparing is dat deze vrijwel geen stoorstraling veroorzaakt. Deze techniek wordt ook regelmatig bij zogenaamde filamentlampen gebruikt, waarin in retrostijl gloeidraden worden nagebootst door een aantal lange LED-stroken.



Figuur 1. Het inwendige van een goedkope LED-lamp: seriecondensator, diode, filterelco en ontladweerstand. De opdruk laat zien: 7 W in plaats van de opgegeven 10 W!

Alle andere — en daarmee ruim 90% van alle LED-lampen — bevatten schakelende netvoedingen, die aan de uitgang een passende stroom leveren voor een serieschakeling van een paar krachtige of een heleboel kleine LED's. Net als bij elke normale schakelende netvoeding wordt ook hier eerst de netspanning gelijkgericht en dan gebufferd door een hoogspannings-elco. Vervolgens wordt deze gelijkspanning elektronisch gehakfeld en aan een kleine transformator toegevoerd. De in de uitgang vloeiende stroom wordt gedetecteerd en dient als terugkoppeling voor de stuur-elektronica van de vermogenstransistors. De karakteristieke schakelfrequentie is 30...100 kHz. Voor HF is dat — zelfs samen met de eerste harmonischen — nog redelijk laagfrequent. De trafo wordt echter niet met een sinus, maar met een steilflankige blokgolf aangestuurd. Dit snelle schakelen genereert spectra met een behoorlijke energie-inhoud bij hogere frequenties. Snel schakelen is goed voor het rendement en hoe hoger de frequentie, hoe kleiner de trafo kan zijn. Beide aspecten brengen echter storende HF-aandelen met zich mee. Deze zijn weliswaar weer weg te filteren, maar dat leidt weer tot meer onderdelen, meer vereiste ruimte en hogere kosten, waardoor de eerder genoemde voordelen weer teniet zouden worden gedaan. Dit gebeurt dan ook slechts zeer beperkt.



Figuur 2. Testopstelling voor het meten aan LED-lampen. Men kan deze opstelling beter **niet** nabouwen — aanraking van de 'bovenste' geleider (van trafo naar lamp) kan dodelijke gevolgen hebben!

### Testen en meten

Om de metingen aan de verschillende lampen onder gelijke condities te kunnen uitvoeren, is een meetopstelling gebouwd. In **figuur 2** valt om te beginnen op, dat de opstelling met een scheidingstrafo galvanisch van het net gescheiden is, om zowel de auteur als de meetapparatuur te beschermen. De vier aftakkingen aan de secundaire kant op

telkens 15 V afstand van elkaar maken het mogelijk te bekijken of de helderheid van een lamp bij netspanningsfluctuaties merkbaar verandert.

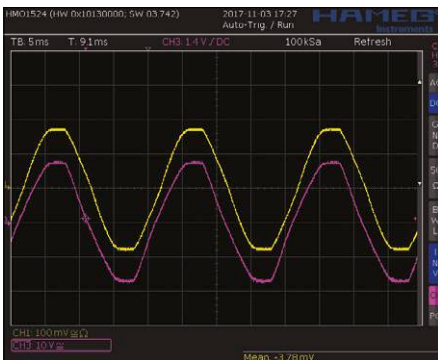
De massa is met de randaarde verbonden, omdat dit ook het massapotential is van de aangesloten oscilloscoop. De stroom wordt bepaald door de spanningsval te meten over een shunt van 1 Ω. De extra 50-Ω-weerstanden dienen voor

het correct afsluiten van de aangesloten BNC-coaxkabel. Een kleine nettrafo parallel aan de LED-lamp levert aan de secundaire zijde de omlaag getransformeerde voedingsspanning van de LED-lamp. Zodoende kunnen niet alleen storingen op de voedingsspanning worden bekeken, maar is dit ook een prima manier om de 'scoop te triggeren.

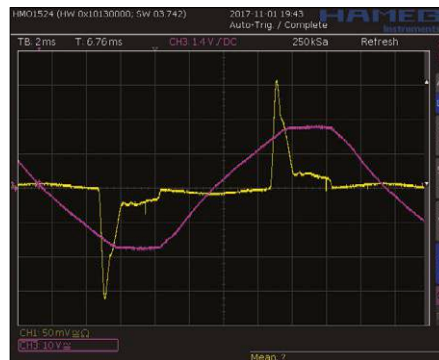
Met deze opstelling valt op een veilige en precieze manier te observeren hoe spannings- en stroomverloop eruit zien. Maar dat is nog niet voldoende: ook het magnetisch strooiveld wordt met een geschikte ontvangspoel gedetecteerd en voor elektromagnetische velden is in een antenne voorzien. Deze laatste punten worden verderop in het artikel besproken. Overigens zijn niet alleen de stromen in het tijddomein interessant, maar ook de spectra in het frequentiedomein. Om met 14 lampen en een gloeilamp als referentie niet het overzicht te verliezen, zijn alle lampen volgens tabel 1 genummerd en zijn die nummers bij alle afbeeldingen en screenshots aangegeven. Rondom de tabel staan foto's van alle geteste lampen.

### Stroom in het tijddomein

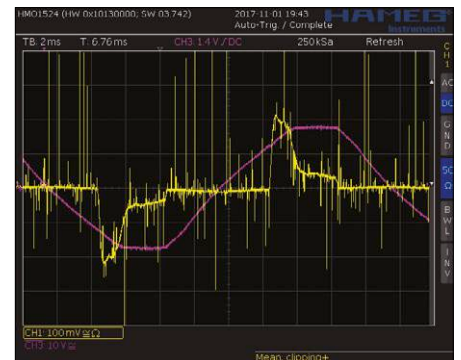
Ter controle is ook de stroom van een gloeilamp gemeten. Hiervan hebben we geen foto afgedrukt, maar de cur-



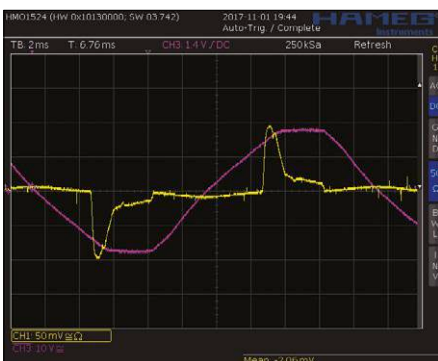
Figuur 3. Stroom- en spanningsverloop van een gloeilamp.



Figuur 4. Stroom- en spanningsverloop van lamp 1.



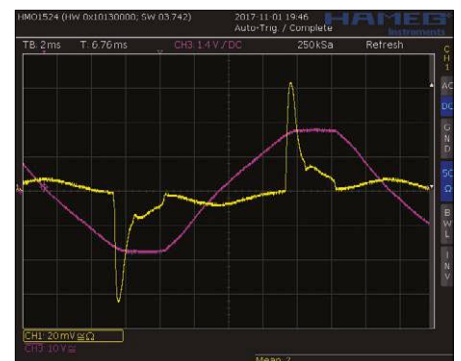
Figuur 5. Stroom- en spanningsverloop van lamp 2. Ojee!



Figuur 6. Stroom- en spanningsverloop van lamp 3.



Figuur 7. Stroom- en spanningsverloop van lamp 4.



Figuur 8. Stroom- en spanningsverloop van lamp 5.



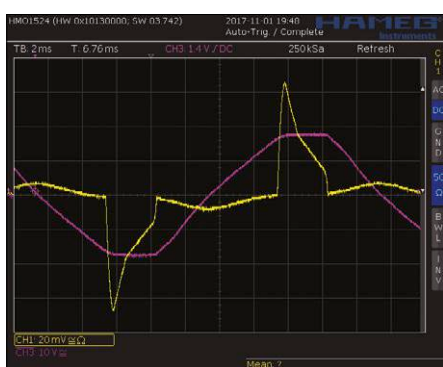
ves tonen een duidelijk voorbeeld van een storingsvrije lamp. Zelfs als de net-sinus enigszins vervormd wordt, is in het verloop van spanning (paars) en stroom (geel) in **figuur 3** (60-W-gloeilamp) duidelijk te zien dat er geen stoorsignalen ontstaan. De genoemde kleuren zijn in de curves van alle LED-lampen in de **figuren 4...17** gebruikt.

Het stroomverloop bracht meteen de eerste verrassingen: de eerste lamp (**figuur 4**) toont in plaats van een sinus- of trapeziumvormig verloop, scherpe pieken bij het bereiken van de spanningsmaxima. Daar wordt namelijk de bufferelco opgeladen tot de piekspanning, wat de scherpe pieken verklaart. Het daar-

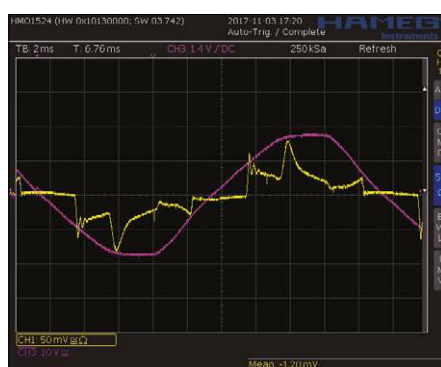
opvolgende lage plateau, dat wel een beetje lijkt op de zitting van een stoel, vertegenwoordigt feitelijk de stroom die de LED's trekken, terwijl de afgevlakte spanning vrijwel constant blijft. Als de spanning weer begint te dalen, wordt de elektronica door de elco gevoed. De spanning hiervan is dan namelijk hoger dan de momentane netspanning, waardoor tot aan de volgende halve golf geen laadstroom meer loopt. Als we in tabel 1 kijken, dan zien we dat deze lamp enige storing in het VHF-gebied veroorzaakt, hoewel de curve er helemaal niet zo 'hoogfrequent' uitziet.

Wie het gedrag van lamp 1 al niet erg fraai vindt: ga door naar **figuur 5** en hui-

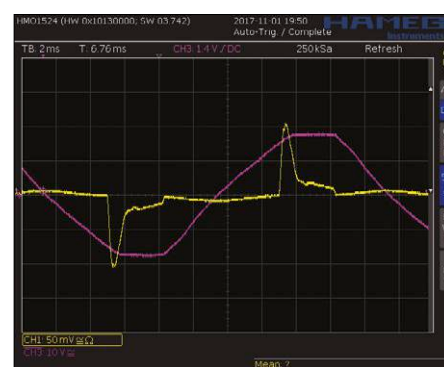
ver! Bij lamp 2 zijn naast de laadcurve nog een hele reeks zeer scherpe spikes te zien, met een amplitude die bijna het dubbele is van de laadpiek. Dat ziet er zeer verdacht uit en inderdaad blijkt dit in tabel 1 het slechtste exemplaar te zijn. Het gedrag van lamp 1 is ook te herkennen in de curves van de lampen 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12 en 14. Maar kijk nu eens naar **figuur 14** en **figuur 16** van de lampen 11 en 13. Hier zien we geen laadpiek, maar een relatief vlak, iets in fase verschoven, stroomverloop. De ingebouwde elektronica laadt blijkbaar de bufferelco op met een relatief constante en geringe stroom, al vanaf enkele tientallen volt en gedurende een



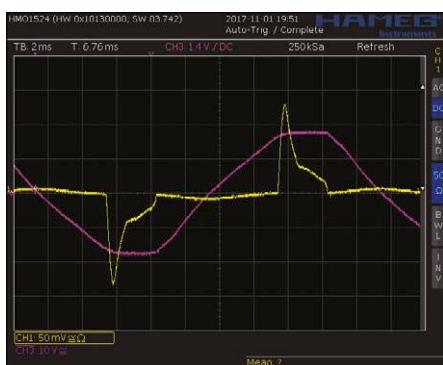
Figuur 9. Stroom- en spanningsverloop van lamp 6.



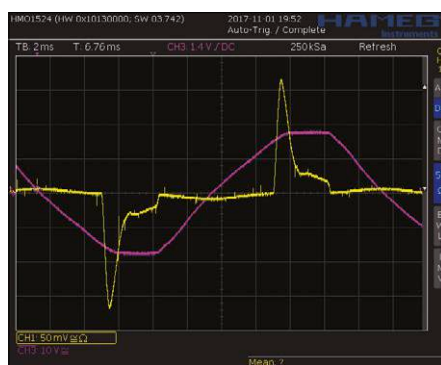
Figuur 10. Stroom- en spanningsverloop van lamp 7.



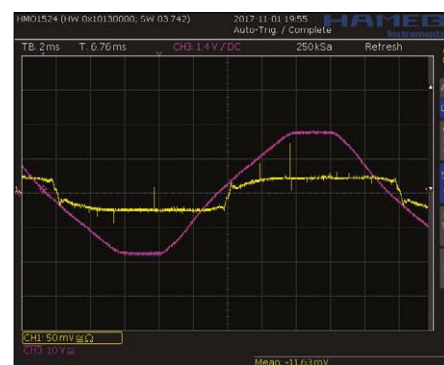
Figuur 11. Stroom- en spanningsverloop van lamp 8.



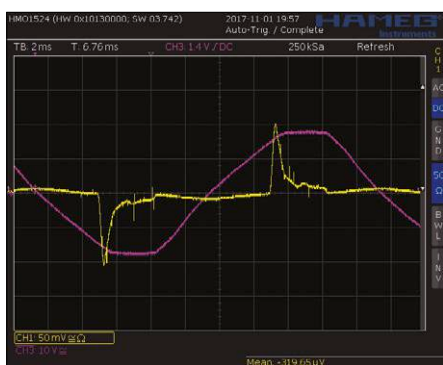
Figuur 12. Stroom- en spanningsverloop van lamp 9.



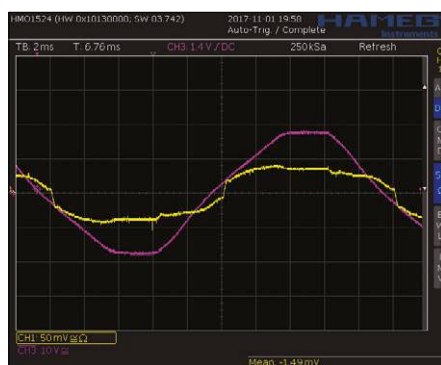
Figuur 13. Stroom- en spanningsverloop van lamp 10.



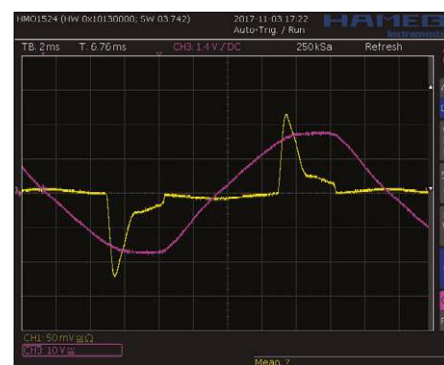
Figuur 14. Stroom- en spanningsverloop van lamp 11.



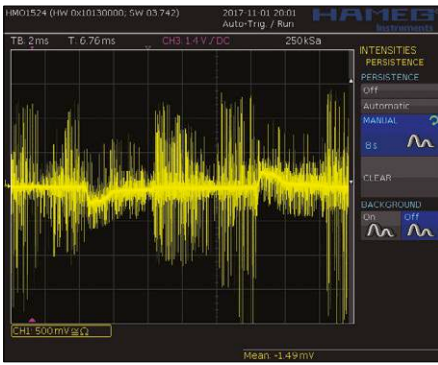
Figuur 15. Stroom- en spanningsverloop van lamp 12.



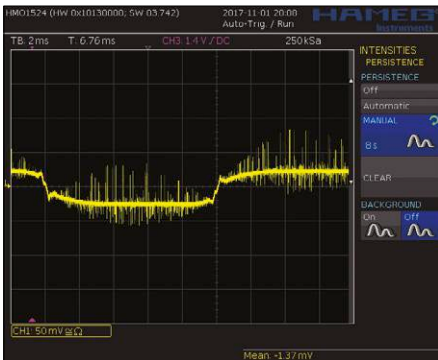
Figuur 16. Stroom- en spanningsverloop van lamp 13.



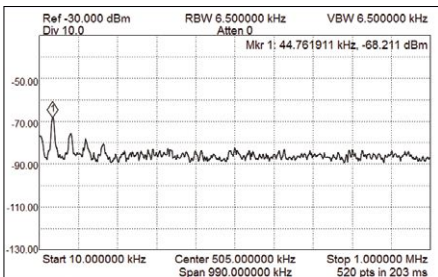
Figuur 17. Stroom- en spanningsverloop van lamp 14.



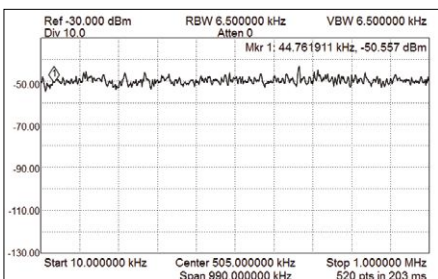
Figuur 18. Stroomverloop met persistentie van lamp 11.



Figuur 19. Stroomverloop met persistentie van lamp 2.



Figuur 20. Stroomspectrum van lamp 1.



Figuur 21. Stroomspectrum van lamp 2. Geen wonder...

groot deel van de sinus. De tijd waarin niet wordt geladen is heel kort. Hierdoor ontstaat een keurig trapeziumvormig stroomverloop van geringe amplitude. Lamp 13 blijkt dan ook geen storing te veroorzaken! Voor lamp 11 zou eigenlijk hetzelfde kunnen gelden, waarmee Ikea een topositie zou innemen, als er niet een paar van die achterbakse spikes in **figuur 14** te zien zouden zijn. Kennelijk betreft Ikea zijn lampen van meer dan één fabrikant.

**Figuur 10** laat zien dat deze lamp weliswaar al bij de halve piekspanning de elco begint te laden, maar dan wel heel abrupt. De laadstroom eindigt weer net zo abrupt. Daartussen is — net als bij de meeste lampen — een ordinaire laadpiek te zien. Goed bedoeld maar slecht uitgevoerd. De steile flanken doen HF vermoeden. En inderdaad: deze Ikea-lamp krijgt in tabel 1 een oranje markering als op één na sterkste HF-stoorzender.

### Stroom gedurende 8 s

Om te laten zien dat de spikes het leeuwedeel van de storing veroorzaken, hebben we het stroomverloop ook gedurende 8 s 'nalichtend' (met persistentie) opgenomen. Dat maakt de smalle naaldpulsjes beter zichtbaar. De in **figuur 14** nog relatief onschuldig uitziende piekjes worden nu in **figuur 18** een waar naaldwoud. Dat lamp 11 stoort is hiermee aanschouwelijk gemaakt. Op deze wijze bekeken blijkt de situatie bij lamp 2 bijna net zo dramatisch. **Figuur 19** toont een vrijwel ononderbroken rij HF-storing veroorzakende naaldpulsjes.

### Stroom in het frequentiedomein

Nu gaan we de stroom spectraal analyseren met een USB-SA44B analyzer van Signalhound. Met een 220-nF-condensator worden eventuele gelijkspanningen geblokkeerd; met de 50-ohm-afsluitweerstand wordt tevens een laagdoorlaatfilter gecreëerd met een kantelfrequentie van 15 kHz. De 50- en 100-Hz-componenten en de eerste harmonischen worden zo vrijwel weggefilterd. Met een aanvullende FTB-1-6 balun van Mini Circuits met een bandbreedte van 10 kHz tot 125 MHz wordt de analyzer tevens galvanisch gescheiden van de meetopstelling.

Bij alle met de analyzer gedane metingen bleek het beter om met een accugelovede laptop te werken, omdat de schakelende netvoeding van een desktop-PC zoveel storing veroorzaakt dat die zowel

via de ether als via de kabels de metingen sterk beïnvloedt. Als spectrumbereik werd gekozen voor 10 kHz...1 MHz, omdat daarboven eigenlijk geen noemenswaardige pieken meer waarneembaar waren.

Het spectrogram van de eerste lamp in **figuur 20** is al interessant: duidelijk is hier de piek bij 44,76 kHz (de schakelfrequentie) te zien, en de harmonischen daarvan. Vanaf f3 is de ruisvloer weliswaar iets verhoogd, maar die blijft beneden -80 dB. De spectra van veel andere lampen zien er vergelijkbaar uit. Alleen lamp 12 springt er met een ca. 8 dB hogere ruisvloer in negatieve zin uit. Maar er ontbreekt nog iets: het spectrum van (stoor)lamp 2. In **figuur 21** zien we het werkelijk schrikbarende stroomspectrum met stoorpieken tot -43 dBm. Zelfs de schakelfrequentie verzuipt volledig in deze vloedgolf van HF. Geen wonder dat je naast zo'n lamp een slechte radio-ontvangst hebt.

### Laagfrequente magnetevelden

**Figuur 22** toont de meetopstelling voor magnetevelden in een frequentiegebied van 10 kHz tot 1 MHz. Als opnemer van het magnetveld fungeert een gewone open ferrietspoel van 68 µH op 5 cm afstand van de lamp. Lamp 1 is zoals steeds voorbeeldig en ook het in **figuur 23** afgebeelde magnetisch spectrum van lamp 10 ziet er nog goed uit. De grondfrequentie is nauwelijks waarneembaar en ook bij hogere frequenties blijven de stoorpieken mooi laag. De groene curve vertegenwoordigt bij alle spectra de referentie bij uitgeschakelde lamp.

Maar nu de boosdoeners: lamp 12 verraadt zich in **figuur 24** met een kam van harmonischen over de gehele bandbreedte. En zoals al viel te verwachten valt ook lamp 2 in **figuur 25** door de mand.

Overigens is bij de lampen 5 en 6 geen enkele magnetisch straling meetbaar, omdat deze — zoals we ook eerder al vermoedden — waarschijnlijk geen schakelende netvoeding bevatten.

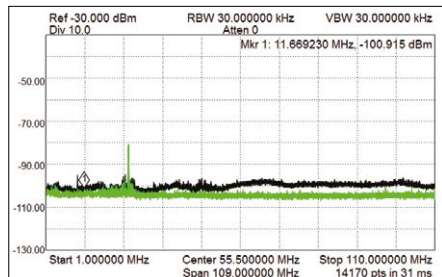
### Hoogfrequente magnetevelden

Ook magnetisch houdt het bij 1 MHz nog niet op, zodat we ook het spectrum van 1 tot 110 MHz hebben gemeten. Hiervoor werd de ferrietspoel uitgewisseld voor een beter geschikte luchtspoel met vijf windingen van 3 cm diameter. Ook zonder ingeschakelde LED-lamp blijkt er een piek bij 24 MHz te zijn, die moeten we

dus in het navolgende negeren. Interessant zijn hier vooral de lampen 10 en 13 (**figuur 26** en **27**). In figuur 26 valt bij lamp 10 een breedbandige verhoging van de magnetische straling op, echter met een zodanig laag niveau dat dit andere apparaten niet zal storen. Spanender is figuur 27 met het spectrum van lamp 13, dat sterke stoorpieken bij 14 en 17 MHz laat zien. Zeer slecht is wederom lamp 2. In **figuur 28** blijft zelfs de eerder genoemde 24-MHz-stoorpiek onder het door de lamp veroorzaakte stoorniveau.



Figuur 23. LF magnetisch spectrum van lamp 10. Alles in orde.



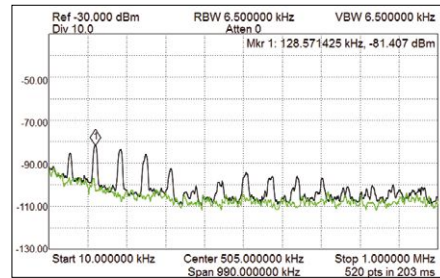
Figuur 26. HF magnetisch spectrum van lamp 10: bovenin wat meer ruis.

**Elektromagnetische stoorniveaus**  
 Vooral van belang is natuurlijk welke stoorsignalen zich bij een antenne openbaren. Daarom is als meetmethode een staafantenne van 50 cm lengte op een afstand van 50 cm van de lamp geplaatst en is de te meten bandbreedte vergroot tot 220 MHz. Hoewel de metingen in een elektromagnetisch goed gedempte kelderruimte plaatsvonden, komen zelfs daar nog veel frequenties door, zoals aan de groene referentiecurve te zien is. Om bij goede LED-lampen überhaupt een verschil te kunnen meten, moest de voorversterker van de analyzer worden ingeschakeld. Nu waren storingen te zien rond 10 MHz, veroorzaakt door de schakelende netvoeding van de laptop (want door de lange meetserie was de accu inmiddels leeg geraakt...). Slechts twee lampen leveren nu een interessant beeld. In **figuur 29** laat lamp

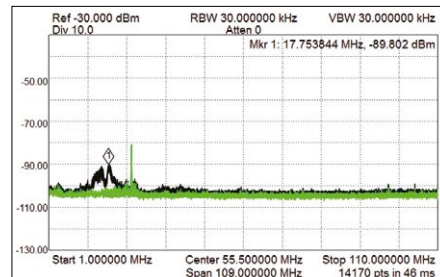
11 boven 100 MHz een licht verhoogd stoorniveau zien. Lamp 2 in **figuur 30** levert weer het slechtste resultaat. In de nabijheid van deze stoorzender zullen zwakke omroepzenders zo goed als niet te ontvangen zijn.

**Overige zaken**

Bij het wisselen van de lampen viel op dat ze behoorlijk in gewicht verschillen. Fitting en glaskolf zullen elkaar weinig ontlopen, maar omdat de elektronica-onderdelen en de LED (exclu-



Figuur 24. LF magnetisch spectrum van lamp 12: een kam van harmonischen.

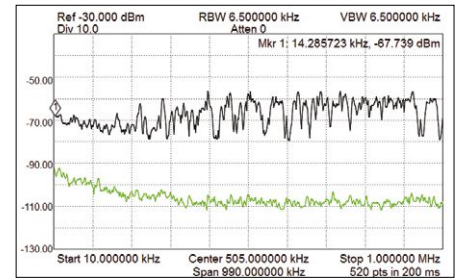


Figuur 27. HF magnetisch spectrum van lamp 13: pieken bij 14 en 17 MHz.

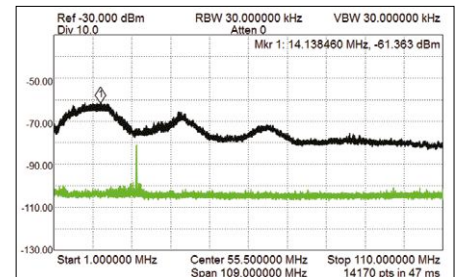
sief het koellichaam) relatief licht zijn, is de conclusie gerechtvaardigd dat het onderscheid vooral zit in trafo's, spoelen en smoorspoelen, en dit hangt samen met de moeite die is gedaan om storingen te voorkomen. Het gewicht van elke lamp is in tabel 1 opgenomen. Lamp 5 is opmerkelijk genoeg zelfs lichter dan de gloeilamp. Met een fotodiode is onderzocht of de gelijkgerichte netfrequentie (100 Hz) of de schakelfrequentie in de lichtstroom gedetecteerd kan worden. De resultaten staan in de kolom 'flikkeren' van tabel 1. Ook de gloeilamp vertoont een lichte 100-Hz-flikkering. De opgave van lichtstroom en opgenomen vermogen is steeds overgenomen van de fabrikanten. Daaruit is de relatieve lichtopbrengst berekend. Naast lamp 3 valt vooral de prestatie van de retro-lampen 5 en 6 op.



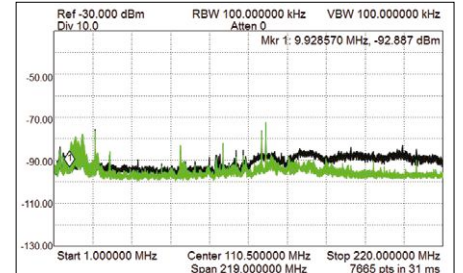
Figuur 22. Een kleine spoel als magnetische veldsensor op 5 cm afstand van de lamp.



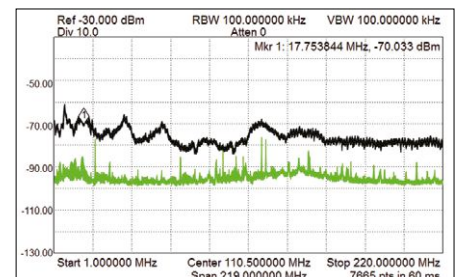
Figuur 25. LF magnetisch spectrum van lamp 2: slecht.



Figuur 28. HF magnetisch spectrum van lamp 2: dat ziet er niet goed uit.



Figuur 29. Antennesignaal bij lamp 11.



Figuur 30. Antennesignaal bij lamp 2: Een echte stoorzender.

## EMC-test met Radio

In een ruimte met matige VHF-ontvangst (de kelder van de auteur) is een radio op ca. 20 cm naast de LED-lamp geplaatst. De antenne werd zo ver ingeschoven, dat de zender nog net storingsvrij was te ontvangen, daarna werd de LED ingeschakeld (zie foto). Hiervan staat een kleine video op de projectpagina van dit artikel [4]. Lamp 2 stoorde zoals te verwachten zeer sterk. Lamp 10 stoorde licht en de lampen 1, 7 en 11 slechts een klein beetje, de overige lampen in het geheel niet. Om de storingen te kunnen horen moest de auteur zijn oor vrijwel tegen de luidspreker aan houden.

Deze eenvoudige test is verbazend gevoelig. Men kan hem zelfs aan leken adviseren, om storende LED-lampen te identi-



Figuur 31. EMC-test met FM-radio.

ficeren (als het voorgaande goed wordt uitgelegd). Als geen draagbare radio beschikbaar is, kan ook de FM-radio van een mobieltje worden gebruikt. Als lamphouder kan een bureaulamp of iets dergelijks worden gebruikt.

Omdat FM ook niet alles zegt, is de test herhaald met een wereldontvanger op de 8 MHz korte golf. Resultaat: lamp 2 stoort sterk, de overige lampen niet. Maar de simpele FM-test was duidelijk gevoeliger. Stoorlamp 2 werd echter ook op korte golf eenduidig geïdentificeerd.

Moderne tijden vergen moderne methoden. Daarom is nog een derde poging gedaan met de autoradio van de auteur, die DAB+ kan ontvangen. Resultaat: zelfs lamp 2 kon de ontvangst niet storen. Dat pleit voor de storingsongevoeligheid van deze modulatievorm. De FM-ontvangst van de autoradio werd echter door lamp 2 volledig gestoord. De overige lampen zijn niet in de auto getest.

De opgenomen stroom verloopt bij geen enkele LED-lamp sinusvormig. Om na te gaan of de opgegeven vermogens overeenkomen met de werkelijkheid, is lamp 1 gemeten met een Voltcraft 4500PRO D vermogensmeter. In plaats van de opgegeven 9,5 W bleek deze lamp 10 W op te nemen. Een afwijking die acceptabel is. Ook directe berekeningen uit de stroom- en spanningsverlopen bij de metingen, die met zekerheid nauwkeurig genoeg zijn, toonden geen grote afwijkingen met de gegevens van de fabrikanten.

### Samenvattend

Vrijwel alle voor deze test gekochte LED-lampen vertoonden gelukkig wei-

nig of geen storingen, op de grens van wat wij nog konden meten.

Lamp 2 is daarentegen een echte stoorzender, die nooit in omloop had mogen komen. We hebben niet kunnen nagaan of het hier gaat om een uitschieter, een defect exemplaar of een in zijn geheel slecht type. Maar er zijn nóg slechtere spullen te koop, zie het kader **Elektronische trafo**.

Als je één van je eigen LED-lampen ervan verdenkt als stoorzender te werken, voer dan de in het kader **EMC-test met radio** beschreven test uit. Als daaruit een 'zondaar' naar voren komt, neem dan contact op met [redactie@elektor.nl](mailto:redactie@elektor.nl) met als onder-

werp 'EMC-LED-lamp'. Als deze lamp nog niet is getest, stuurt Elektor hem door aan de auteur om hem nader aan de tand te voelen. Wellicht verschijnt dan nog eens een artikel met aanvullende fabricaten. ◀

(160610)

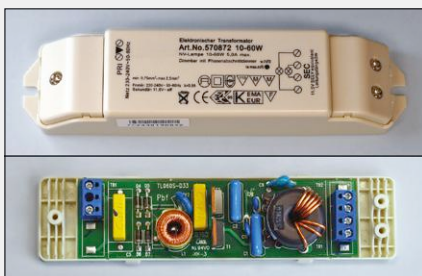
### Weblinks

- [1] <https://goo.gl/DkVVQP>
- [2] <https://goo.gl/hiRa2Q>
- [3] <https://goo.gl/81defC>
- [4] [www.elektormagazine.nl/160610](http://www.elektormagazine.nl/160610)
- [5] <https://goo.gl/iWFKka>

## Elektronische trafo

Eigenlijk hoort in elke bouwmarkt verplicht een waarschuwing te hangen met **'Beware of Electronic Transformers'**. Hiermee worden niet die Transformers bedoeld waar kinderen zo dol op zijn, maar zogenaamde elektronische transformatoren die worden aangeboden voor het voeden van 12-V-lichtsystemen voor kleine halogeen-spots (en tegenwoordig ook spots en lampen met LED's). Ten opzichte van hun vermogen zijn ze klein, licht en goedkoop. Ze bevatten een schakelende netvoeding, maar dan wel van een bijzonder soort, zoals blijkt uit een artikel van Thomas Scherer in Elektor december 2008 [5].

Aan de ingang ontbreekt een laadelco en aan de uitgang een filterelco. Deze laat-



Figuur 32. Elektronische 12-V-trafo en zijn spartaanse inwendige

ste is ervoor verantwoordelijk dat aan de uitgang een knalharde blokspanning van 12 V<sub>eff</sub> staat, met een frequentie van 30 kHz. Die wordt dan via een aantal meters open draad achter een verlaagd

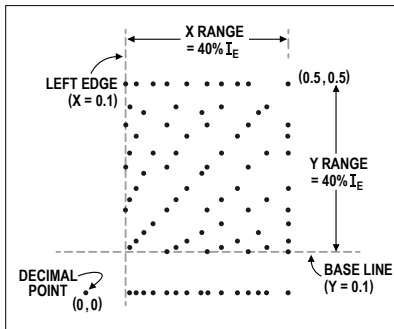
plafond naar meerdere spots toe geleid, dus een perfecte afstraalconditie! Daar komt nog bij dat door het uitsparen van een ingangsbuffer het uitgangssignaal met een massieve 100-Hz-golf wordt gemoduleerd. Men koopt dus niet zomaar een stoorzender, maar eentje waarvan de HF ook nog eens met een 100-Hz-sig-naal op elke denkbare manier is gemoduleerd. Ontvangers produceren dan een prachtige brom.

Vreemd genoeg is zoiets niet wettelijk verboden. In elk geval de verkoop ervan niet. De argeloze niet-elektronicus blij, maar alle radioamateurs in de omgeving vloeken. Hier ligt duidelijk een taak voor de EU om in te grijpen.

# Tektronix Readout System

## vreemde onderdelen

Neil Gruending (Canada)



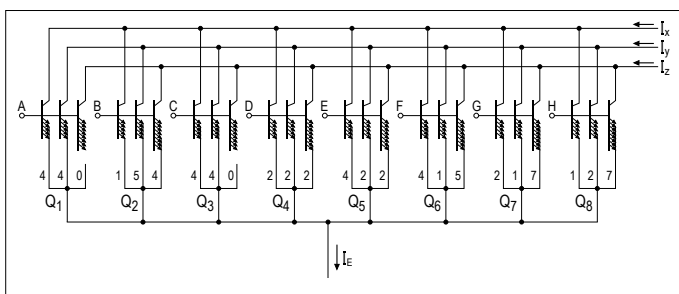
Figuur 1: De uitlezing wordt 'getekend' door gebruik te maken van CRT-coördinaten. (Nagetekend van Tekwiki [1])

Tektronix had een manier nodig om data af te beelden op de kathodestraalbuis (CRT) van hun 7000-serie oscilloscopen, maar dat was een uitdaging omdat die destijds geheel analoog waren. Aanvankelijk wilden ze met glasvezels een klein display naast de CRT maken, maar Tektronix-engineer Barrie

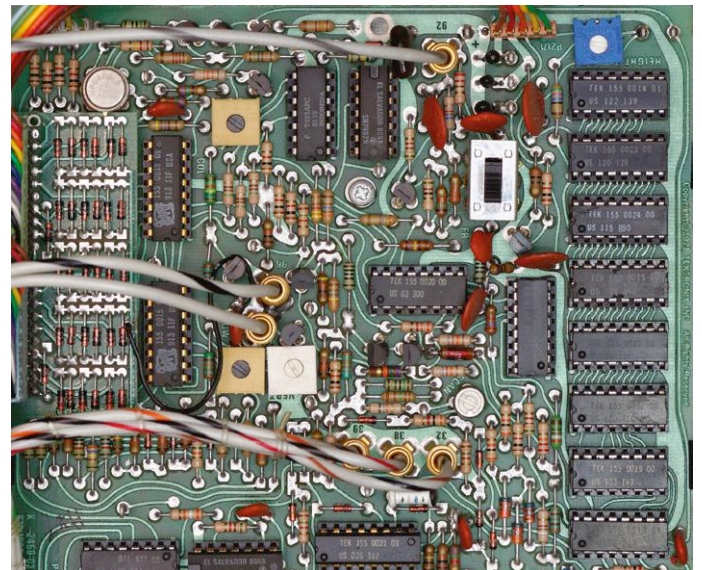
Gilbert had een beter idee: waarom de karakters niet rechtstreeks op de CRT tekenen? Zijn prototype toonde aan dat dit kon en hij ontwierp dus een uitleessysteem onder gebruikmaking van enkele speciaal daarvoor ontworpen IC's.

Met Barrie's ontwerp konden oscilloscoop-plug-ins met twee weerstanden rij en kolom van de af te beelden karakters kiezen uit een 11 x 10 matrix van beschikbare karakters. Maximaal 10 karakters konden een woord vormen, dat vervolgens op de juiste plek op de CRT kon worden afgebeeld. Een timing-schakeling wijst aan elk karakter een timeslot toe dat wordt gedecodeerd om het juiste karaktergenerator-IC te selecteren om het karakter op de CRT te tekenen. De timing-schakeling kon ook nog zaken als het opvullen van een woord met nullen of het overslaan van een woord. De chips van de karaktergenerator gebruikten een lettertype waarbij elke letter met zeven streepjes kan worden gevormd. Een driehoekig scan-sigitaal werd gebruikt om de X en Y coördinaten van elk streepje (**figuur 1**) [1] op de CRT te activeren, waardoor één van acht groepjes van drie transistoren (**figuur 2**) met een constante stroom  $I_e$  werd geactiveerd. Twee van de transistors leverden de X- en Y-stroomsignalen voor de CRT, terwijl de derde de ongebruikte stroom afleidde naar het substraat van het IC, zodat

$$I_e - I_x - I_y - I_z = 0$$



Figuur 2: Voorbeeld van een uitleessel. (Nagetekend van Tekwiki [1].)



Tektronix 7904A readout board. De rij- en kolomdecoders zitten links boven, de timing-IC's in het midden en de karaktergenerators vormen de rechter kolom. (Afbelding met dank overgenomen van TekWiki.)



Hebt u een idee voor een artikel over uw eigen vreemde component(en), mail dat dan naar: [neil@gruending.net](mailto:neil@gruending.net).

Het driehoeksignaal is belangrijk omdat zo op de CRT lijnen tussen de punten worden getekend en dus niet alleen stippen zichtbaar zijn.

Het ontwerp van de karaktergenerators is ook interessant, omdat de emitter-gebiedjes van het masker bij de diverse IC's identiek zijn. Elk gebiedje bevat een aantal even grote emitters die naar wens kunnen worden verbonden door de metalisatie-laag aan te passen. Zodoende kon voor alle varianten hetzelfde silicium-ontwerp worden gebruikt.

Ik ben onder de indruk van wat Barrie kon realiseren met zijn ontwerp; gelukkig zijn online kopieën beschikbaar van Tektronix' uitstekende servicemanuals voor hun 7000-serie oscilloscopen, die ter lering en vermaak zeer gedetailleerd laten zien hoe de schakeling werkte. Er zijn ook nog andere prima informatiebronnen zoals TekWiki [2] of de TekScopes mailing list [3]. Houd er alleen rekening mee dat niet alle 7000-serie oscilloscopen dit ontwerp gebruiken, omdat Tektronix in latere modellen overstapte op digitale uitlezingen. ◀

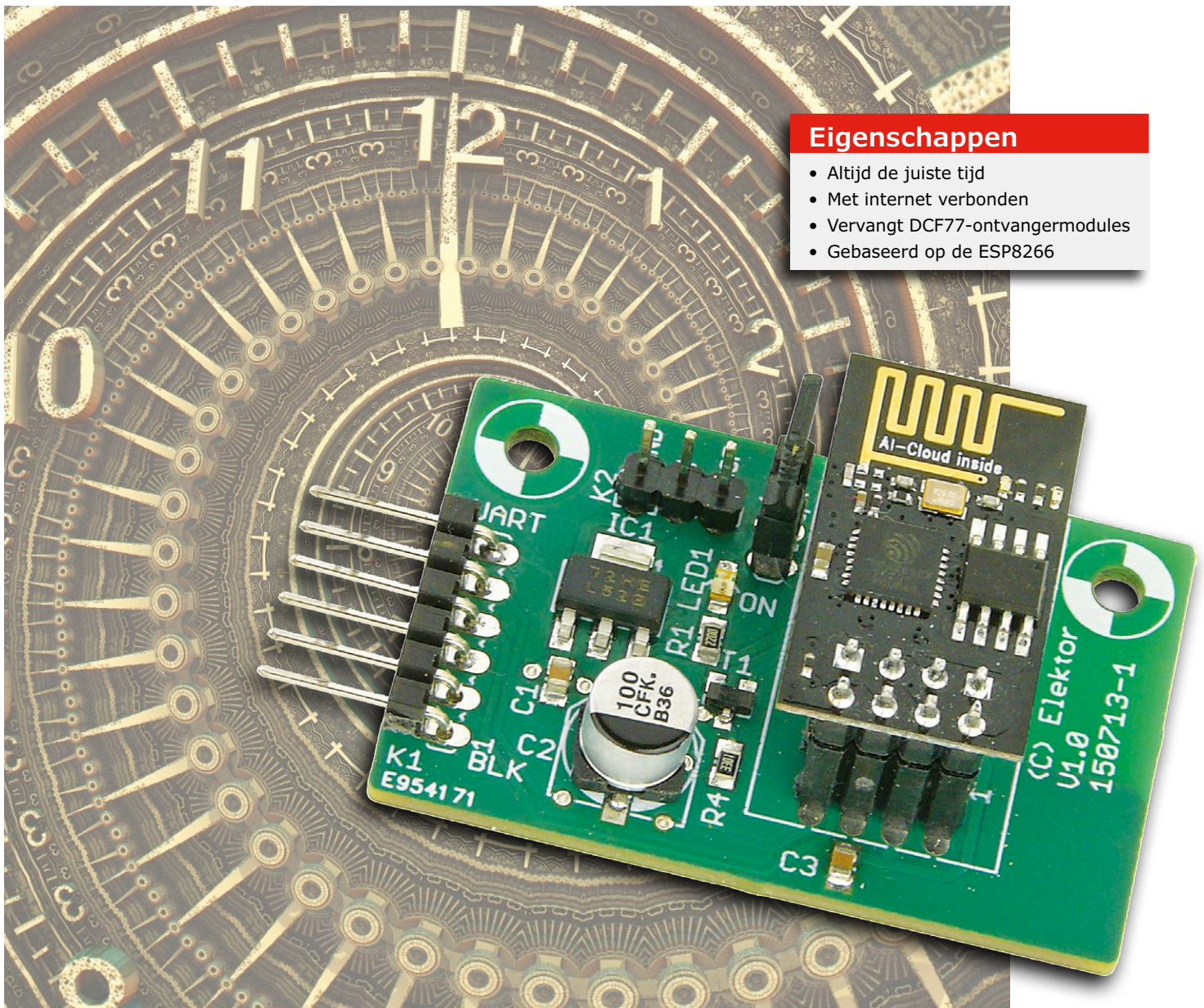
(160528)

### Web Links

- [1] [w140.com/tekwiki/wiki/7000\\_series\\_readout\\_system](http://w140.com/tekwiki/wiki/7000_series_readout_system)
- [2] [w140.com/tekwiki/wiki/Main\\_Page](http://w140.com/tekwiki/wiki/Main_Page)
- [3] <https://groups.yahoo.com/neo/groups/TekScopes/info>

# DCF77-emulator met ESP8266

internettijd vervangt draadloze tijd



## Eigenschappen

- Altijd de juiste tijd
- Met internet verbonden
- Vervangt DCF77-ontvangermodules
- Gebaseerd op de ESP8266

Massimo Fusari (Italië) en Luc Lemmens (Elektor Labs)

In de jaren '70 heeft mijn vader een klok met Nixie-buizen gebouwd, en zo'n twintig jaar terug heb ik die gerestaureerd en gemoderniseerd. De digitale logica werd een microcontroller en de oorspronkelijke 50-Hz-tijdbasis werd een DCF77-module.

Die klok heeft vele jaren lang prima dienst gedaan, maar de DCF77-ontvangst in mijn huis kreeg langzamerhand steeds meer last van elektromagnetische storing, vermoedelijk veroorzaakt door al die moderne schakelende voedingen. Daarom besloot ik de DCF77-module te vervangen door een *Network Time Protocol client* (NTP). Een ESP-01-module op basis van een ESP8266 zou perfect zijn. Die is goedkoop, krachtig en makkelijk als een Arduino te programmeren, met alle voordelen van open source-libraries. Het resultaat is een DCF77-ontvanger die wordt geëmulleerd door een ESP-01-module die is opgenomen in mijn WiFi-thuisnetwerk. Er is maar één uitgangspen nodig om de oude Nixie-klok aan te sturen. Het idee achter dit project mag simpel klinken, de implementatie was best nog wel complex. Mogelijk moet u de software wat aanpassen om die compatibel te maken met uw DCF77-klok, daarom heeft Luc van Elektor Labs een printje ontworpen waarmee u de ESP-01 makkelijk kunt (her)programmeren. De schakeling van dit artikel is zodoende een DCF77-emulator en een ESP-01-programmer in één.

### Eenvoudige hardware

Het schema van de emulator (**figuur 1**) is niet ingewikkeld. De ESP-01-module heet hier MOD1; hij wordt gevoed door IC1, een 3,3-V low dropout-spanningsregelaar (LDO). Met jumper JP1 zet u de ESP-01 in de programmeermodus. LED1 geeft aan dat er voedingsspanning aanwezig is, maar aangezien de ESP-01 zijn eigen voedings-LED heeft, zou u LED1 en R1 ook weg kunnen laten. K1, pincompatibel met een FTDI-kabel, maakt de aansluiting van een USB/serieel-omzetter mogelijk; **let op: dit moet een type voor 3,3 V zijn!** Transistor T1 vergemakkelijkt de verbinding tussen de emulator en uw klok. Het uitgangsniveau van de ESP-01, 3,3 V, wordt door deze transistor omgezet naar het logische niveau van uw DCF77-klok. R4, de collectorweerstand van T1, kan vervallen als de klok zelf al een pull-up weerstand aan de ingang van de DCF77-decoder heeft. T1 invertteert het DCF77-uitgangssignaal; dat lossen we softwarematig op. Mogelijk moet u de documentatie van de DCF77-module in uw klok erop naslaan om te kijken of het uitgangssignaal al dan niet geïnverteerd moet worden. Uitproberen kan natuurlijk ook, of anders kunt

u met een oscilloscoop aan het uitgangssignaal van uw huidige DCF77-ontvanger zien wat de polariteit is.

### ReadAndDecodeTime doet het zware werk

Het programma heeft de vorm van een Arduino-sketch. Zoals gebruikelijk wordt er eerst een `setup`-functie uitgevoerd; daarna start een `loop` die eindeloos herhaald wordt.

De functie `setup` definieert eerst de in- en uitgangen van de ESP-1 en initialiseert dan een paar globale variabelen. Vervolgens start een timer die iedere 100 milliseconden afgaat, met behulp waarvan we de bitstream in het DCF77-formaat maken. (Zie het internet voor meer informatie over het DCF77-protocol.) Tenslotte wordt verbinding met het WiFi-netwerk gemaakt.

De eindeloze `loop` is heel simpel en draait maar één keer per minuut. Daarbij wordt verbinding gemaakt met de tijdserver om te kijken hoe laat het is, of wordt er verbinding gemaakt met het netwerk als die om de een of andere reden verbroken werd. De reden dat de `loop`-functie zo lang niets doet is dat hij al het werk delegeert aan de functie `ReadAndDecodeTime`. Dit werkpaaard maakt de eigenlijke verbinding met de NTP-server, vraagt de tijd op en zet die om in iets dat gemakkelijk te coderen is in DCF77-formaat. Die taak valt toe aan de functie `CalculateArray`, die de ver-

## PROJECT-INFO

**DCF77**

ESP-01 ESP8266

emulator NTP Wi-Fi

---

beginners

→ gevorderden

experts

---

Ca. 2 uur

---

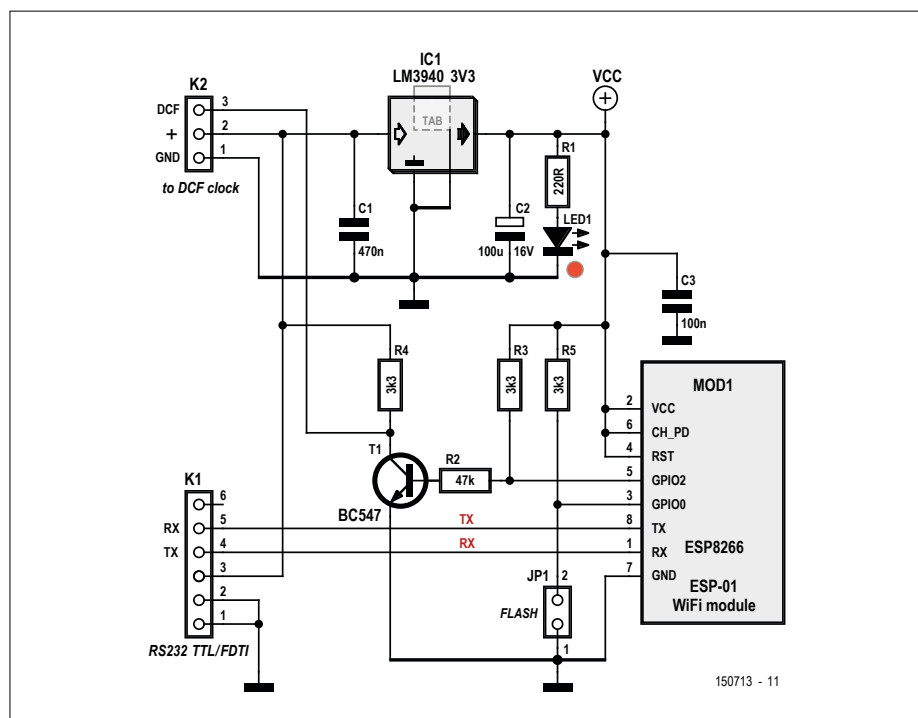
SMD-soldeerbout,  
computer,  
Arduino IDE

---

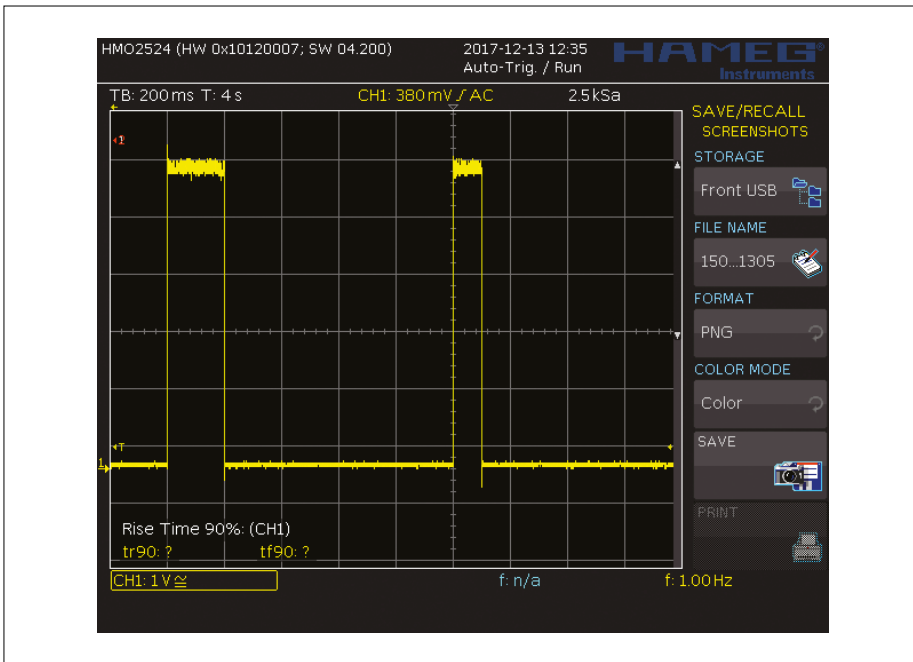
Ca. € 15

schillende waarden voor een geldig frame omzet in een reeks nullen en enen op de juiste plaats in het frame. De eerdergenoemde 100-ms-timer roept de functie `Dcfout` aan. Die leest het array dat `CalculateArray` heeft gemaakt en stuurt die reeks naar buiten via pin GPIO2 als pulsen van 100 ms voor nullen, of van 200 ms voor enen.

De conversie van NTP-tijd in DCF77-tijd



Figuur 1. Alle intelligentie van de DCF77-emulator zit in de ESP-01 WiFi-module.



Figuur 2. De pulsen die de emulator produceert zijn perfect getimed. Een logische één (links) is 200 ms, een nul is 100 ms, de tijd tussen twee pulsen is één seconde.

lijkt misschien triviaal maar is ingewikkelder dan u zou denken. Ten eerste is de tijd die de NTP-server ons aanlevert het aantal seconden dat verstreken is sinds 1900. Ten tweede werkt de library voor tijdberekeningen met Unix-tijd — het aantal seconden verstreken sinds 1970 — dus we moeten eerst NTP-tijd omzetten in Unix-tijd. Ten derde verwacht het DCF77-protocol de eerstvolgende minuut (“bij de volgende

toon is het...”), niet de huidige minuut. En tenslotte krijgen we de NTP-tijd waarschijnlijk niet precies op de hele minuut binnen. Ter correctie trekken we daarom twee minuten van de ontvangen tijd af en sturen de uitkomst naar de klok, gevolgd door een derde volledige minuut. Op die manier zorgen we dat de klok genoeg data heeft om te synchroniseren en de juiste tijd te berekenen.

## Bouw

De meeste onderdelen zijn SMD's, maar toch is het solderen en monteren niet al te moeilijk. In de onderdelenlijst wordt een 2x4 busstrip genoemd voor de montage van de ESP-01-module, maar het is mechanisch steviger en bespaart ook wat ruimte (hoogte) wanneer u de ESP-01 direct, zonder dit 'voetje', op de moederprint soldeert. U kunt ook het voetje tijdelijk plaatsen en weer weghalen als alles naar behoren blijkt te werken.

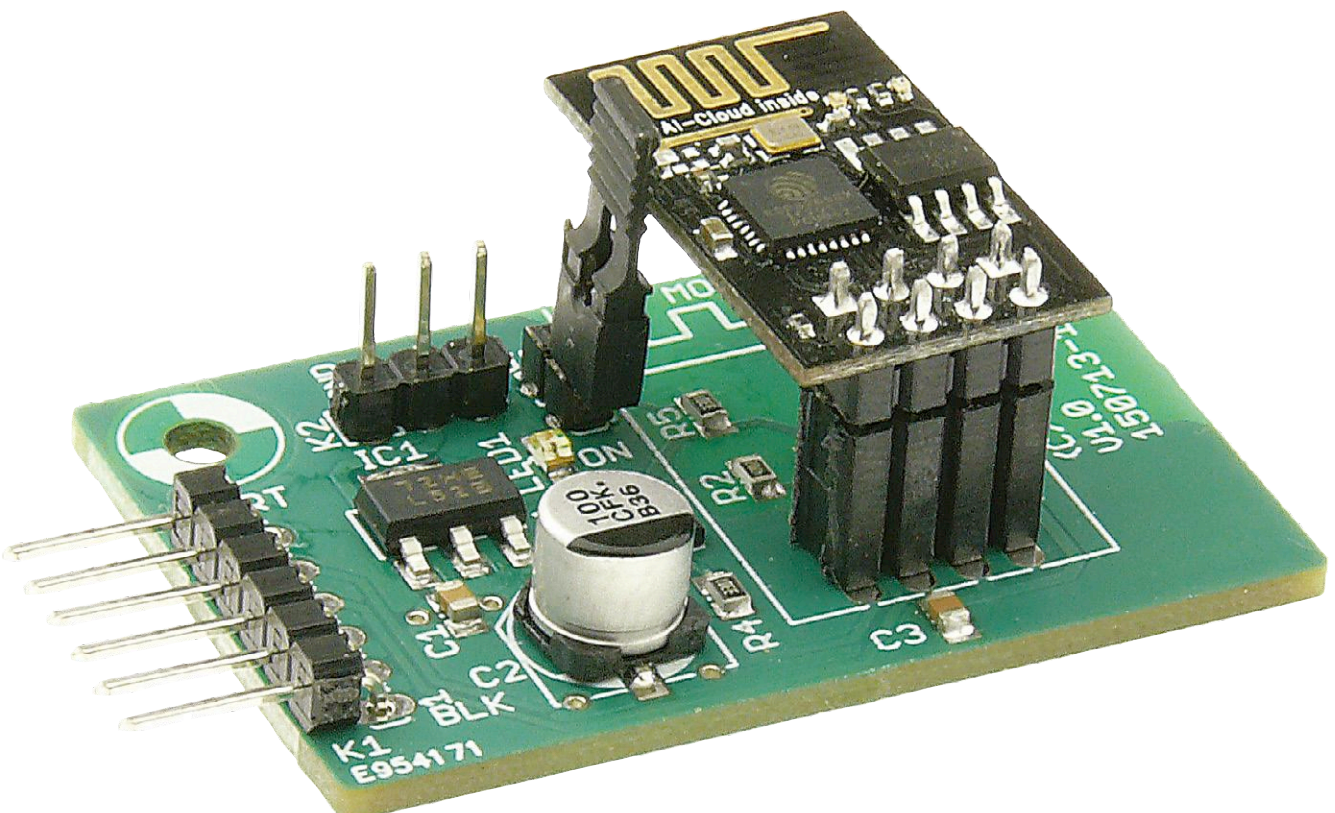
## Aanpassen van de sketch aan uw eigen situatie

Hebt u het printje klaar, dan is het tijd om software in de ESP-01-module te laden. Dat is de Arduino-sketch ESP8266\_NTPtoDCF, gratis te downloaden van [1]. Als dit de eerste keer is dat u een ESP8266-module programmeert met de Arduino IDE, dan moet u eerst het *ESP8266 Boards Package* installeren. Meer hierover vindt u via [2] en op vele andere sites, en in talloze artikelen.

Dan zijn er drie dingen nodig om de sketch te laten werken met uw DCF77-klok.

1. inlogcodes voor uw WiFi-netwerk;
2. de URI van de tijdserver voor de synchronisatie;
3. de polariteit van de uitgang van de DCF77-emulator.

De ESP-01 moet opgenomen zijn in uw





WiFi-netwerk om tijdgegevens van een NTP-server op te kunnen halen. Daar toe zet u de juiste gegevens tussen de dubbele aanhalingstekens in de volgende regels, bovenin de sketch:

```
char ssid[] = "your_network_name";
// your network SSID (name)
char pass[] = "network_password";
// your network password
```

De URI van de tijdserver hebben we ook nodig:

```
const char* ntpServerName = "0.nl.pool.ntp.org";
```

In dit geval is er een Nederlandse (nl) tijdserver gekozen, maar u kunt hier natuurlijk iets anders kiezen. De polariteit van de DCF77-emulator wordt gedefinieerd in de functie `DcfOut`:

```
case 0:
    if (PulseArray[PulseCount]!=0)
        digitalWrite(LedPin,0);
    break;
case 1:
    if (PulseArray[PulseCount]==1)
        digitalWrite(LedPin,1);
    break;
case 2:
    digitalWrite(LedPin, 1);
    break;
```

U ziet hier de active-high-versie (uitgang is normaal logisch laag, pulsen zijn logisch hoog). Voor een active-low uitgangssignaal (uitgang normaal logisch hoog, pulsen logisch laag) maakt u in de drie `digitalWrite`-commando's van elke nul een één en elke één een nul.

### De ESP-01 programmeren

Voordat we verder gaan eerst een belangrijke opmerking: leg nooit voedingsspanning aan via K2 als de schakeling wordt gevoed uit een USB/serieel-omzetter via K1, of omgekeerd. Doet u dit toch, dan sluit u de twee voedingen kort en kan dat schade toebrengen aan uw DCF77-klok, uw computer, of allebei. Kom dan niet bij ons uithuilen! Plaats JP1 en sluit een 3,3-V USB/serieel-omzetter aan tussen K1 en uw computer. Die omzetter moet compatibel zijn met FTDI-kabels. JP1 moet gesloten zijn als de voeding wordt ingeschakeld om de ESP-01 in flash-modus (programmeren) te zetten. In de Arduino IDE onder *Tools* kiest u *Generic ESP8266 Module* als

board-type en het juiste COM-poort-nummer van uw USB/serieel-interface. vervolgens kunt u compileren en uploaden. Is de upload voltooid, dan opent u de *Serial Monitor* in de Arduino IDE (ook in het menu *Tools*). De ESP-module echoot nuttige informatie naar uw computerscherm zodat u kunt nagaan of de DCF77-simulator naar behoren werkt. Eerst ziet u of de ESP-01 met uw WiFi-netwerk kan verbinden. Zo niet, dan verifieert u of het juiste netwerk-SSID en wachtwoord is ingegeven in de sketch. Is de WiFi-verbinding tot stand gebracht, dan wordt de tijdserver gelezen en ziet u de gedecodeerde tijd. Merk op dat de tijd op uw scherm twee minuten voorloopt, dat is nodig om met de DCF77-klok te kunnen synchroniseren! Blijft de verbinding met de tijdserver uit, dan zit er mogelijk een tikfout in de URI. Die moet u dan corrigeren in de sketch. Telkens wanneer u de sketch aanpast, moet u hem opnieuw compileren en uploaden in de ESP-01-module. Denk erom dat u de schakeling dan ook moet uit- en weer aanzetten (K1 losnemen en terugplaatsen) om de module in programmeermodus te zetten.

### Installeer de emulator in uw klok

Is de informatie in de Seriele Monitor correct, dan kunt u de schakeling in uw DCF77-klok inbouwen.

Verwijder de programmeerkabel van K1 en de jumper van JP1. Haal de oude DCF77-ontvanger uit uw klok. Dat is meestal een aparte module met drie draden: voeding, 0 V en DCF77-sig-naal. Sluit K2 van onze schakeling aan op de nu nog onbezette ingang van de klok.

Als u zeker wilt weten of de uitgang van onze DCF77-emulator wel geldige DCF77-code levert, dan zijn er verscheidene DCF77-decoders voor Arduino op het internet te vinden. Wij hebben getest met de sketch van [3].

(150713)

### Web Links

- [1] [www.elektormagazine.com/labs/pcf77-emulator-with-esp8266-elektor-labs-version-150713](http://www.elektormagazine.com/labs/pcf77-emulator-with-esp8266-elektor-labs-version-150713)
- [2] <https://github.com/esp8266/Arduino>
- [3] <https://arduino-hannover.de/2012/06/14/pcf77-empfangen-mit-arduino-betreiben/>
- [4] [www.elektormagazine.com/150713](http://www.elektormagazine.com/150713)



## ONDERDELENLIJST

### Weerstanden

(alles 0805, 5%, 0,1 W)  
R1 = 220 Ω  
R2 = 47 kΩ  
R3,R4,R5 = 3,3 kΩ

### Condensatoren

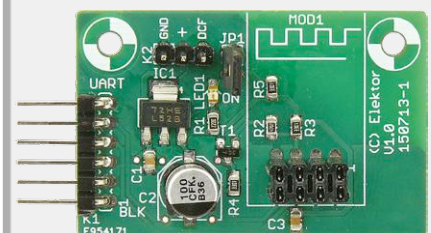
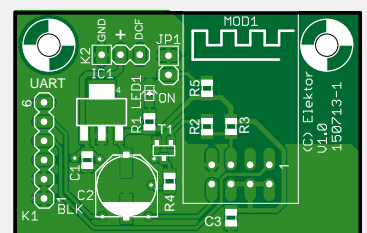
(alles 0805)  
C1 = 470 nF  
C2 = 100 µF/16 V, radiaal SMD, Ø 6,3mm  
C3 = 100 nF

### Halfgeleiders

IC1 = LM3940IMP-3.3/NOPB  
LED1 = LED, rood, 0805  
T1 = BC847C

### Diversen

JP1 = 2-polige pinheader, steek 0,1", met passende jumper  
K1 = 6-polige pinheader, steek 0,1"  
K2 = 3-polige pinheader, steek 0,1"  
MOD1 = ESP-01 WiFi-module  
MOD2 = 8-polige (2x4) busstrip, steek 0,1"  
Print 150713-1 v1.0



## IN DE STORE

→ 150713-1  
onbestukte print voor  
DCF77-emulator  
→ 150445-91  
ESP-01 module

# Multitimer

## schakelt tot 16 kanalen

Willem Tak (Nederland)

Timers — je kunt er niet genoeg (van) hebben. Om de aquariumverlichting te schakelen, om tijdens afwezigheid aanwezigheid te simuleren, om de diepvriespizza warm te hebben tegen de tijd dat je thuiskomt, je kunt het zo gek niet verzinnen of je kunt het met een timer doen.



Voor een beetje elektronicus is een timer kat in 't bakkie, om het zo maar eens uit te drukken. Maar zodra je er een paar in elkaar hebt gesoldeerd, ben je voor je het weet alleen nog bezig voor familie en burens steeds weer dezelfde schakeling te bouwen. Niet leuk dus, en geen enkele uitdaging. De auteur besloot daarom een timer te ontwerpen *to end all timers* — met voorspelbaar gevolg: hij is nu al bezig het vijfde of zesde exemplaar in elkaar te solderen, en de bestellingen blijven binnenrollen.

### Om te beginnen: acht kanalen

Van de multitimer bestaan inmiddels twee versies: een met acht en een met zestien kanalen. We beginnen met die eerste. De acht timers sturen elk een uitgangsrelais aan. Elk van de timers kan vrij worden ingesteld binnen een periode van 24 uur, met een minimum van 1 minuut en een maximum van 23 uur 59 minuten.

Uiteraard is het mogelijk om voor een belasting meerdere schakelmomenten per dag in te stellen, door meerdere uitgangsrelais slim te combineren.

Dankzij een ingebouwde GPS-eenheid heeft de timer altijd de beschikking over de juiste tijd en datum. Bovendien bevat elke timer een modus-instelling waarmee bijvoorbeeld een afwijkend weekend-schakelmoment kan worden gekozen.

Voor de bediening en instelling wordt een gecombineerde draai-encoder/schakelaar (Alps EC11B152442D) gebruikt; een OLED-display completeert de timer. Het is mogelijk een lichtsensoren aan te sluiten waarmee het gedrag van de timer beïnvloed kan worden.

### De hardware

In **figuur 1** hebben we het schema van de achtkanaals timer getekend. Dit is niet bijzonder ingewikkeld omdat de meeste intelligentie in een microcontroller is verstopt. Als controller heeft de auteur gekozen voor een PIC 18F4685, voornamelijk vanwege de grote hoeveelheid RAM-geheugen. De controller draait op 22,1184 MHz zodat de aangesloten GPS-eenheid probleemloos kan worden uitgelezen.

Over die laatste gesproken: dat is een EM-408 die voor niet al te veel geld via het internet verkrijgbaar is; het is natuurlijk ook mogelijk een andere receiver te gebruiken, bijvoorbeeld die uit de Elektor-shop [1]. In elk geval heeft de EM-408 een voedingsspanning van 3,3 V, zodat een level-shifter in de vorm van een 74HCT00 tussen de receiver en de controller is opgenomen.

De aansturing van het OLED-display is standaard, zodat we er hier niet nader op in hoeven te gaan. De helderheid van het display wordt geregeld met een potmeter die op een analoge

ingang van de controller is aangesloten.

Op een andere analoge ingang is een fotocel (Sparkfun SEN-09088) aangesloten; deze stuurt op zijn beurt (onder andere) een LED die oplicht bij voldoende omgevingslicht, en in duisternis dooft. Het schakelniveau kan met een potmeter worden ingesteld.

Als klein detail is een service-LED gemonteerd die na inschakelen tot leven komt, en die vervolgens telkens na het ontvangen van een geldige GPS-string omschakelt.

Voor het feitelijke schakelen van de belastingen worden relais (Finder 34.51.7.012.0010) gebruikt die bij 230 V een stroom van maximaal 6 A kunnen schakelen. Omdat de uitgangen van de controller niet in staat zijn een relais direct aan te sturen, is een ULN2803 (IC3) tussengeschakeld.

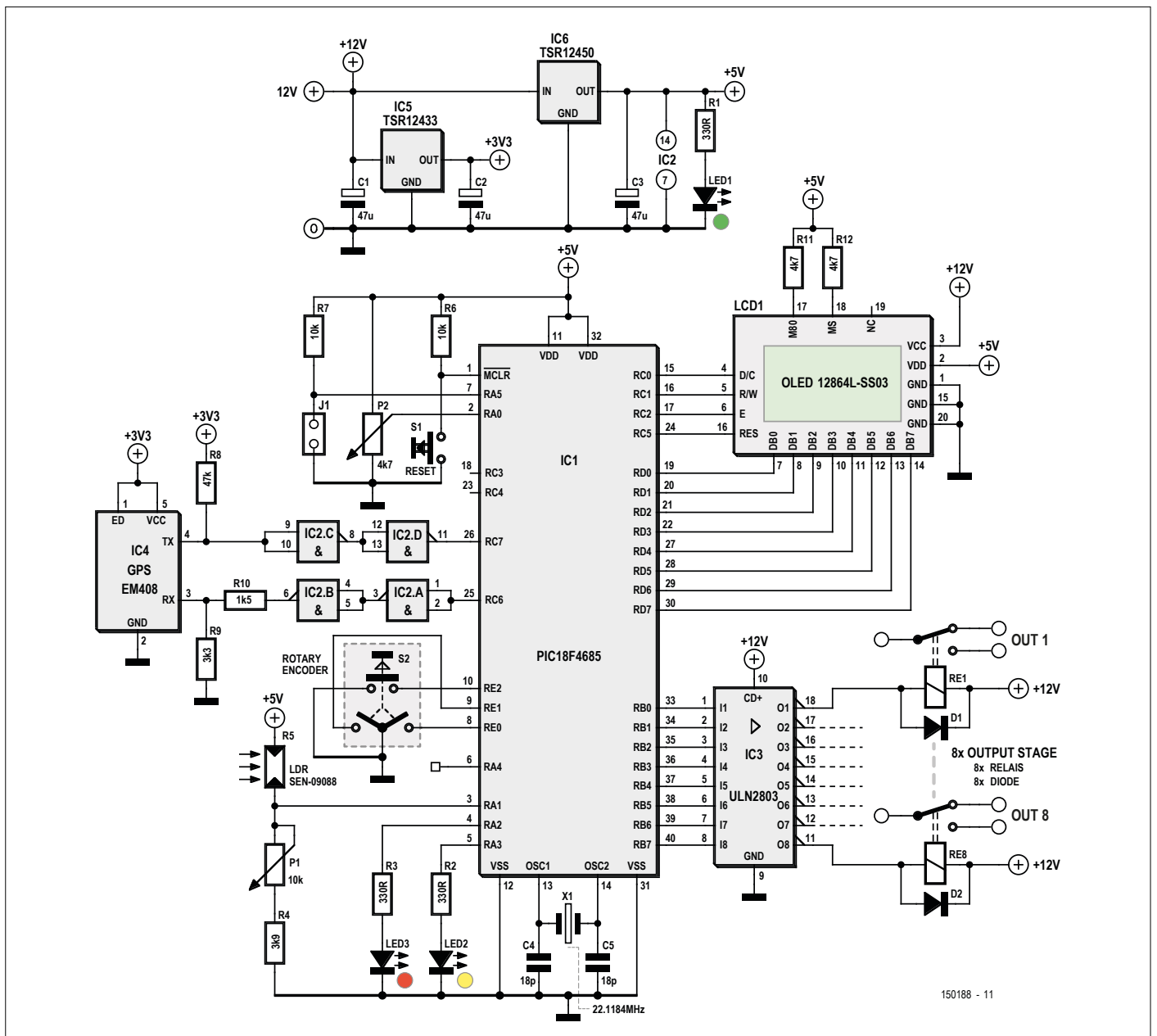
Een niet onbelangrijk aspect van het geheel is de voeding. De timer als geheel wordt gevoed uit 12 V; deze spanning wordt ook voor de relais gebruikt. Twee driebenige schakelende regelaars maken van die 12 V een spanning van 3,3 V

voor de GPS-eenheid en een spanning van 5 V voor de rest van de elektronica.

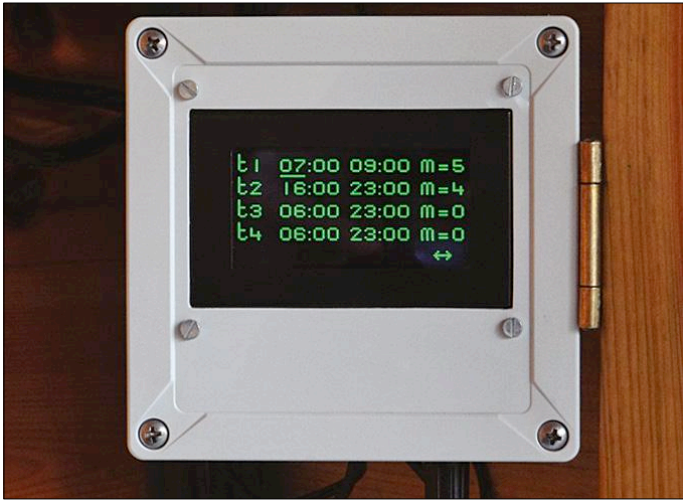
### Firmware

Omdat de auteur ervoor heeft gekozen alle functies in één enkele controller onder te brengen, is de firmware best complex geworden — en in elk geval te uitgebreid om hier af te drukken. Geïnteresseerden kunnen de firmware echter, zoals gebruikelijk, gratis van de projectpagina bij dit artikel [2] downloaden. De van de GPS-eenheid afkomstige tijd wordt gebruikt om de interne klok gelijk te zetten; vervolgens draait de timer op die interne klok. De software bevat diverse routines die in de gaten houden dat de interne klok niet (teveel) van de GPStijd gaat afwijken.

Voor de besturing van de acht timerblokken is een zogenaamd windowRAM van 1440 bytes in RAM gedefinieerd. Elk van die bytes correspondeert met een specifieke minuut van de dag. Voor elk van de acht timers is één bit van dat byte gereser-



Figuur 1. De complete hardware voor de 8-kanaals timer.



Figuur 2. In een nette behuizing ziet de 8-kanaals timer er 'gelikt' uit.

veerd; een 0 op die posite staat voor een afgefallen relais en een 1 voor een bekrachtigd relais. De software bevat een routine die de tijd omrekent naar de actuele minuut en dus naar het juiste windowRAM-adres.

Het programma is voorzien van een groot aantal opzoektabelen — bijvoorbeeld een tabel die tot en met 2024 bijhoudt wat zaterdagen, zondagen en feestdagen zijn.

### Gebruik

Over het gebruik kunnen we kort zijn: deze timer biedt zoveel mogelijkheden dat we vele Elektor-bladzijden daarmee zouden kunnen vullen. Dat doen we echter niet: een uitgebreide gebruiksaanwijzing maakt eveneens deel uit van de download [2].

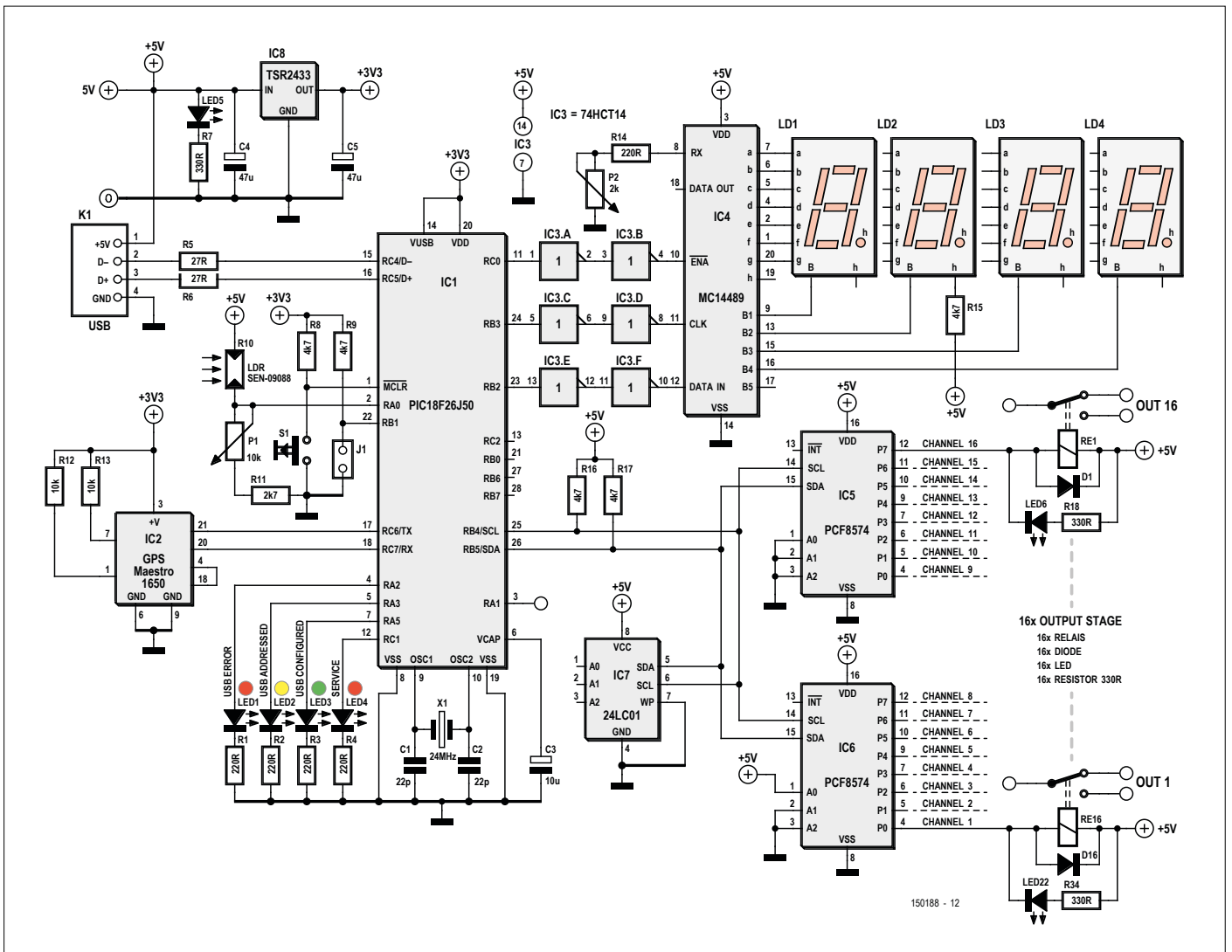
**Figuur 2** geeft een indruk van een van de door de auteur opgebouwde exemplaren.

### De 16-kanaals versie

Was de achtkanaals-versie al *the timer to end all timers*, dan kunnen we de zestienkanaals-versie met een gerust hart *the timer to end the timer to end all timers* noemen...

Alle gekheid op een stokje — het schema van deze versie is getekend in **figuur 3**. De opzet volgt in grote lijnen die van de kleinere versie, maar er zijn voldoende verschillen om er een aparte beschrijving aan te wijden.

Zoals de naam al aangeeft, bevat deze schakeling 16 timers die elk een eigen relais aansturen. Elke timer kan binnen een periode van 24 uur vrij worden geprogrammeerd, met een



Figuur 3. Het schema van de 16-kanaals versie lijkt ingewikkelder dan dat van de 'kleinere' versie, maar schijn bedriegt.

minimum van 1 minuut en een maximum van 23 uur 59 minuten. Ook hier kunnen meerdere schakelmomenten voor een belasting worden geprogrammeerd door uitgangen te combineren. Voor de tijd en datum wordt ook hier een GPS-eenheid gebruikt. De tijdzone kan vrij worden ingesteld. Elke timer heeft een modus-instelling waarmee (bijvoorbeeld) voor een weekendstand kan worden gekozen.

De timers worden vanaf een PC of laptop geprogrammeerd via een USB-verbinding. De timer is voorzien van een viercijferig 7-segment LED-display dat de tijd weergeeft, plus 16 'losse' LED's die de status van de uitgangen aangeven. Het is mogelijk een fotocel aan te sluiten om het gedrag van (bepaalde) timers te beïnvloeden.

## Hardware

Het hart wordt weer gevormd door een microcontroller, ditmaal een PIC 18F26J50. Deze is net als die van de kleinere versie gekozen vanwege de grote hoeveelheid RAM-geheugen. De klokfrequentie bedraagt 24 MHz (in verband met de USB-verbinding). De GPS-eenheid is in dit geval een Maestro 2035 die op 3,3 V draait. Hij kan daarom zonder meer op de RS232-lijnen van de controller worden aangesloten. A propos RS232: de klokfrequentie van 24 MHz resulteert in 'kromme' RS232-baudrates, maar de afwijkingen blijven binnen de toegestane toleranties.

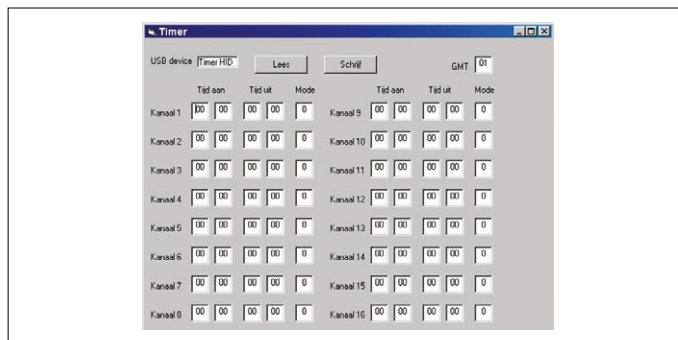
De fotocel wordt op een analoge ingang van de controller aangesloten; hiermee wordt (ook) een LED aangestuurd die bij voldoende omgevingslicht brandt. Het schakelpunt kan met een potmeter worden ingesteld.

Voor de USB-verbinding met PC/laptop is in een connector voorzien; voor de voeding van de timer dient een separate 5-V-aansluiting. Let op: als de timer voor programmeerdoel-einden met de PC of laptop is verbonden, mag de externe 5-V-voeding niet zijn aangesloten! De 3,3 V voor de controller en de GPS-eenheid wordt met een TSR12433 (een 'driebenige' schakelende converter) uit de 5 V afgeleid.

Voor de opslag van de programmeerdata van de PC is gekozen voor een externe EEPROM (een 24LC01). De hier gebruikte PIC-versie heeft namelijk geen ingebouwde EEPROM — in plaats daarvan heeft Microchip gekozen voor zogenaamd HEF (*High Endurance Flash*), waarbij een gedeelte van het programma-geheugen als permanent geheugen wordt gereserveerd. Dit brengt echter nadelen met zich mee: zo moet een geheugenlocatie eerst worden gewist voordat die kan worden beschreven, en dat wissen gaat in blokken van minimaal 1024 bytes. En in computertermen neemt het een halve eeuwigheid in beslag — veel te lang in elk geval wanneer ook nog een USB-verbinding aan de praat moet worden gehouden.

Omdat de I<sup>2</sup>C-lijnen van de controller, waarop de externe EEPROM is aangesloten, 5-V-tolerant zijn, kan die zonder verdere omhaal worden aangesloten. Op de I<sup>2</sup>C-bus zijn ook nog twee oude bekenden aangesloten: port-expanders van het type PCF8574. Deze zijn in staan om de relais (hetzelfde type als bij de 8-kanaals versie) rechtstreeks aan te sturen.

Het display, bestaande uit vier doodgewone 7-segment LED-display's met gemeenschappelijke kathode, wordt aangestuurd door een displaydriver van het type MC144489. Hierop is ook een potmeter aangesloten waarmee de helderheid van de uitlezing kan worden ingesteld. De driver op zijn beurt wordt door drie controllerlijntjes aangestuurd; een levelshifter van het type 74HCT14 is tussengeschakeld



Figuur 4. Interface voor het programmeren van de 16-kanaals timer.

om het 3,3-V-niveau van de controller op te tillen naar het 5-V-niveau voor de driver.

## De firmware

Ook in dit geval is de software complex uitgevallen: alles wordt door één controller gedaan, en bovendien bestaat de software uit twee gedeelten: een gedeelte dat bij USB-bedrijf wordt gebruikt (dus om de timer te programmeren) en een gedeelte dat het normale bedrijf voor zijn rekening neemt.

De keuze tussen de beide bedrijfsmodi wordt gemaakt via de voeding. Wanneer een USB-kabel van een (ingeschakelde) PC of laptop wordt aangesloten, zal de software proberen het USB-enumeratieproces te starten. Zodra de timer als HID is herkend, bestaat er een actieve verbinding met de PC/laptop. Daar moet dan het programma *Timer\_16* (maakt ook deel uit van de download) worden gestart en kan de timer worden geprogrammeerd. **Figuur 4** geeft een indruk van de programmeerinterface.

Wanneer de normale 5-V-voeding wordt aangesloten, zal het enumeratieproces uiteraard mislukken en schakelt het programma over naar het gedeelte dat voor de normale modus verantwoordelijk is.

Het zal duidelijk zijn dat de 5-V-voeding en de USB-kabel niet tegelijk aangesloten mogen zijn!

Verder geldt voor de firmware in principe hetzelfde als voor de 8-kanaals versie, met als verschil dat nu twee windowRAM-blokken van elk 1440 bytes zijn gedefinieerd.

## Gebruik


Ook bij de 16-kanaals versie zou alleen al de gebruiksaanwijzing meer bladzijden van uw lijfblad in beslag nemen dan ons lief is. De uitgebreide handleiding maakt daarom deel uit van de (gratis) download bij dit artikel [2]. ◀

(150188)

## Links

[1] <https://www.elektor.nl/gps-board-eb056>

[2] [www.elektormagazine.nl/150188](http://www.elektormagazine.nl/150188)

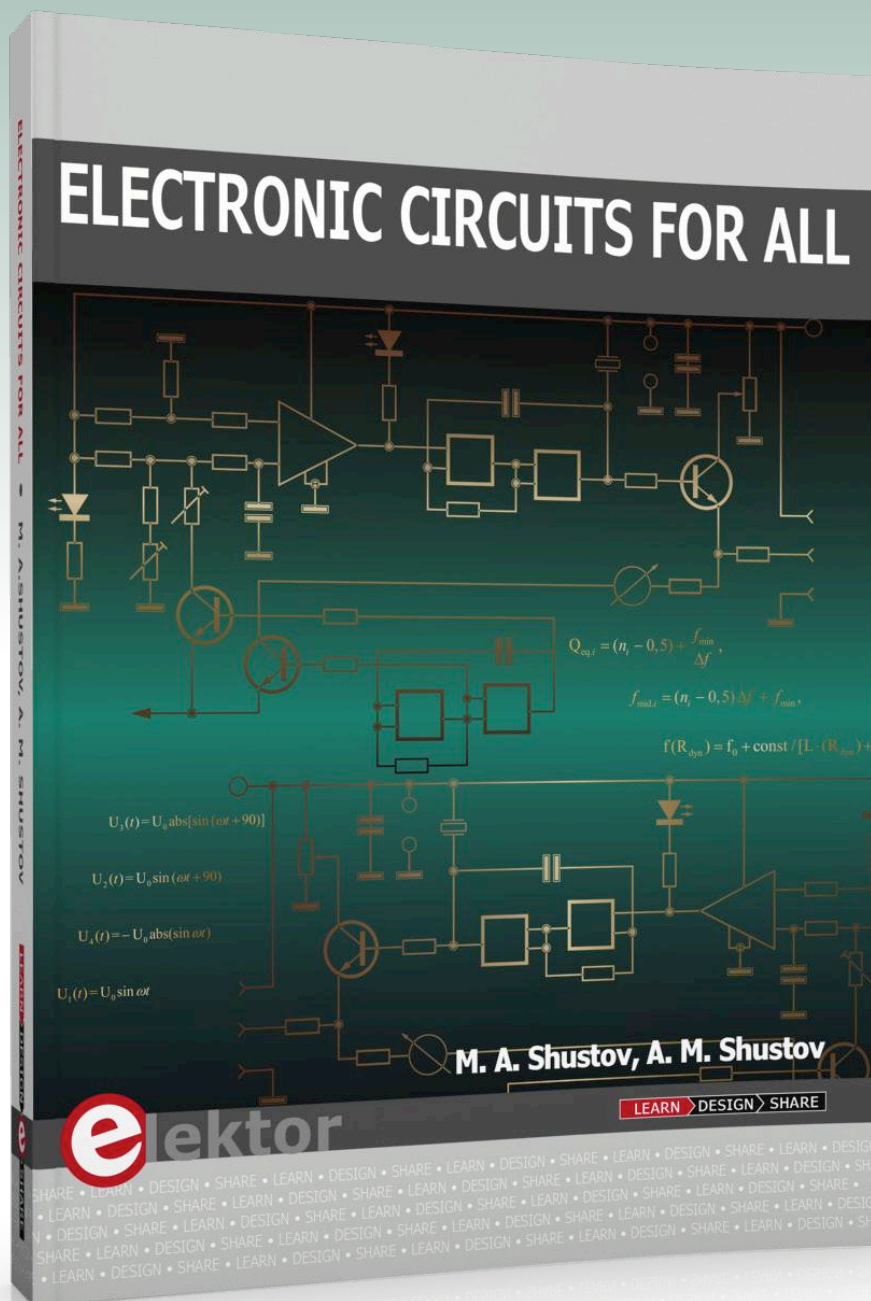


**IN DE STORE**

→ \* 150192  
GPS-board

# From Russia with love...

400+ schakelingen op 400 bladzijden



## Redactie Elektor

In het huidige microcontroller-gestuurde tijdperk zouden we haast vergeten dat er een tijd was waar elektronica uit discrete componenten bestond die je gewoon kon vastpakken en zonder speciaal gereedschap kon solderen...

beveiliging. En daarom hoeft het niet veel verbazing te wekken dat dit (Engelstalige) boek in 2017 door Elektor op de Europese markt is uitgebracht.

## Baristor

In 2016 hebben vader en zoon Shustov tijdens het *Fast Forward Award*-event op de vakbeurs *electronica* te München een prijs in ontvangst mogen nemen voor hun *baristor* (een samentrekking van *barrier resistor*), een

uit conventionele onderdelen samengestelde nieuwe component die zich tot een bepaalde spanning als een onderbreking gedraagt en daarboven als een normale weerstand (of net omgekeerd) — zie **figuur 1**. Het zal geen verbazing wekken dat deze component in het boek uitgebreid aan de orde komt; **figuur 2** geeft een aardig voorbeeld.

## Minimalistisch

De schema's in het boek maken een minimalistische indruk. Ontkoppelcondensatoren, beschermingsweerstanden of ingan-

Waarschijnlijk gedreven door nostalgische gevoelens hebben Michael Shustov en zijn zoon Andrej het boek *Electronic Circuits for All* samengesteld, een verzameling van meer dan vierhonderd kleine en eenvoudige schakelingen met conventionele ('ouderwetse') onderdelen — eigenlijk een beetje in de stijl van de *3xx Schakelingen*-reeks (met  $xx = 00...11$ ) van Elektor en met een even gevarieerde inhoud: voor elk wat wils op het gebied van onder andere voedingen, meetapparatuur, generatoren, filters, (tele)communicatie, versterkers en

gen van ongebruikte CMOS-poortjes die aan massa zijn gelegd — die dingen ontbreken. De auteurs hebben kennelijk zoveel vertrouwen in de lezers dat ze er van uitgaan dat men die 'vanzelf' toevoegt. Het zijn dus echte doe-het-zelf schema's — wanneer we zelf snel iets op een stukje papier krabbelen tekenen we immers ook niet minutieus al deze verfijningen...

### Taalgebruik

Bij lezing ontstaat de indruk dat de Engelstalige versie van het boek is geschreven of vertaald door iemand die niet het Engels maar het Russisch als moedertaal heeft. Misschien hebben de auteurs zelf de Engelstalige versie verzorgd of er is een niet op de colofonpagina genoemde vertaler aan het werk geweest — hoe het ook zij, taalpuristen zullen hier en daar kippe(n)vel krijgen, maar de fouten (bijvoorbeeld 'capacity' in plaats van 'capacitance') en ongelukkige formuleringen staan een goed begrip van het geschrevene gelukkig niet werkelijk in de weg.

### Terug naar de TUP en de TUN

We hebben al opgemerkt dat het boek een beetje aan de 300-reeks van Elektor doet denken — en dat geldt ook voor de keuze van de componenten. De auteurs kiezen bijvoorbeeld bij de transistoren onveranderlijk voor de BC547 en BC557 (respectievelijk NPN en PNP). Dat waren toen de werkpaarden van de elektronica, iedereen gebruikte die dingen voor zo ongeveer alles wat denkbaar was. Het gebruik van deze *Transistor Universeel PNP* en *Transistor Universeel NPN* wekt in elk geval nostalgische gevoelens, en wie niet toevallig nog een doosje vol met die dingen heeft rondslingeren, kan met een gerust hart modernere exemplaren inzetten. Hetzelfde geldt voor de andere gebruikte componenten: geen exotica maar standaardonderdelen die iedereen op voorraad heeft. Dat maakt nabouw van de schakelingen in het boek mogelijk zonder dat men naar de elektronikawinkel om de hoek — sorry, dat was in de jaren '70 van de vorige eeuw nog zo; over nostalgie gesproken — dus: zonder dat men eerst bij een internethandelaar de juiste onderdelen moet bestellen.

### Esoterica

Naast een heleboel uiterst praktische schakelingen besteden de auteurs ook aandacht aan enkele meer esoterische zaken: Kirlian-fotografie, onweersvoorspelling, elektrotherapie, aëron-detectie (*whatever that may be*) en psycho-emotionele correctie (**figuur 3**) — zaken die in het flower power-tijdperk ook de pagina's van (toen nog) Elektuur hebben gesierd. Over het nut van dergelijke bijdragen kan worden gediscussieerd, maar ze zijn in elk geval goed om een regenachtige zondagmiddag met de soldeerbout door te brengen.

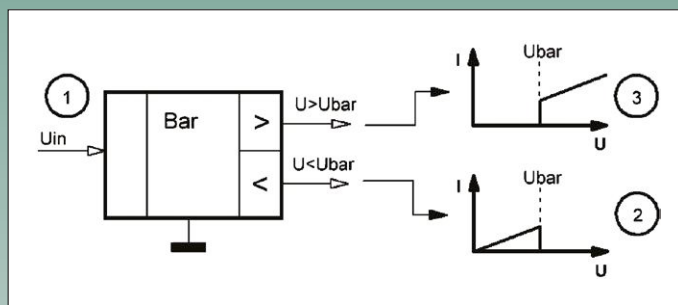
### Conclusie

Ondanks enkele ondergeschikte kritiekpuntjes mogen we de auteurs dankbaar zijn dat ze deze verzameling schakelingen en schakelingetjes 'uit het verleden' voor 21<sup>e</sup>-eeuwse elektronici beschikbaar hebben gemaakt, ten bewijze dat het niet altijd een µC of een RPi hoeft te zijn. Dames en heren soldeerliehebbers: haal de doos met 'oud spul' te voorschijn en stook de bout warm! ◀

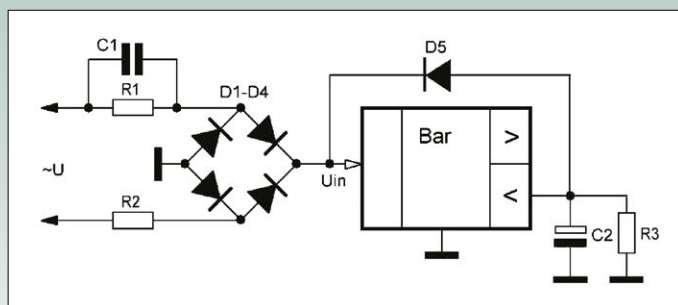
(160394)

### Links

[www.elektor.com/electronic-circuits-for-all](http://www.elektor.com/electronic-circuits-for-all)



Figuur 1. Het schemasymbool van de 'baristor'.



Figuur 2. Transformatorloze voeding met een baristor.



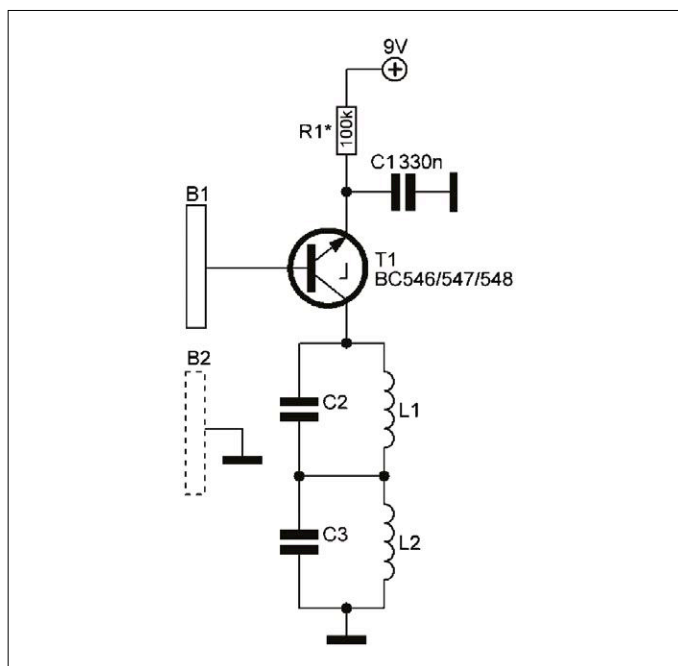
### IN DE STORE

→ **Electronics Circuits for All**

M.A. Shustov en A.M. Shustov

Elektor International Media - ISBN 978-1-907920-65-3

400 pagina's, paperback - Bestelnummer 18333, prijs € 39,95



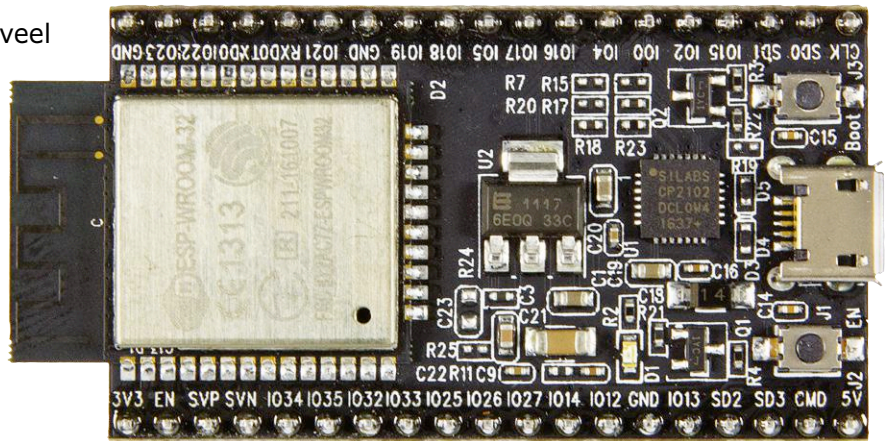
Figuur 3. Schakeling voor psycho-emotionele correctie. Wie weet hoe dat werkt, mag het zeggen...

# Zuinige ESP32

## de programmering van de ULP-coprocessor

Tam Hanna (Slowakije)

Bij het werken met de ESP8266 hadden veel ontwikkelaars kritiek op het hoge stroomverbruik. De ESP32 biedt een oplossing: hij is uitgerust met een coprocessor die ULP wordt genoemd en die — met sterk gereduceerde functie-omvang — minder energie nodig heeft. Die ULP moet echter worden geprogrammeerd in assembler — hier laten we zien hoe.



Figuur 1. De ESP32 DevKitC is een praktisch ontwikkelbord.

In dit artikel gebruiken we het ontwikkelbord ESP32 DevKitC, dat een micro-USB-slot heeft en in de Elektor-shop kan worden besteld [1] (figuur 1).

De eerste stappen met de ESP32 hebben we al besproken in Elektor september/oktober 2017 [2]. In dit artikel gaan we het over het gebruik van de ULP hebben.

### Vorbereidingen

Of u het nu leuk vindt of niet: de fabrikant Espressif werkt regelmatig het IDF-programmeer-framework bij. Aangezien er ondertussen al flink wat water naar de zee is gestroomd sinds het laatste ESP32-artikel in Elektor werd gepubliceerd, is het aan te raden eerst een actuele versie van het framework op te halen. Nadere informatie is te vinden onder [3].

Houd er zoals altijd rekening mee dat de ESP Toolchain allergeen is voor spaties — de map "Documents and Settings",

die steeds weer opduikt in oudere versies van Windows, zorgt voor veel ergernis, waarvoor in de fora van de fabrikant helaas weinig begrip bestaat.

Voor gebruikers van het in [2] besproken SparkFun-board is er in dit opzicht een kleine verandering: in plaats van de tot dan toegepaste FTDI-converter vertrouwt ons bord op de CP210x, die veel goedkoper en qua prestaties vergelijkbaar is. Meestal is de driver standaard beschikbaar; als uw PC om wat voor reden dan ook problemen maakt, kunt u op [4] archieven met drivers vinden.

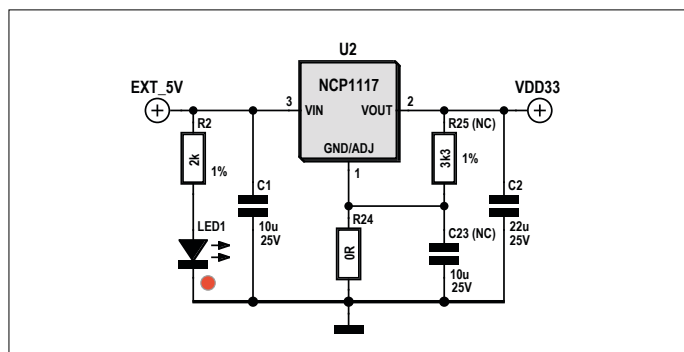
Verbind vervolgens het bord met de computer via een micro-USB-kabel: de rode LED gaat meteen branden. Onder Ubuntu kunt u het 'pad' naar de virtuele seriële poort in het systeemlogboek vinden — de auteur benadert de DevkitC net als zijn voorganger via `/ttyUSB0` :

```
tamhan@TAMHAN14:~$ dmesg
[19280.368821] usb 1-1.7: Product: CP2102 USB to UART
Bridge Controller
```

...

```
[19280.399519] cp210x 1-1.7:1.0: cp210x converter
detected
[19280.399840] usb 1-1.7: cp210x converter now
attached to ttyUSB0
```

Omdat gebruikersnaam en password van PC tot PC verschillen, verwacht de ESP-programmeeromgeving de aanwezigheid van omgevingsvariabelen — wie onder Unix werkt, kan de beide



Figuur 2. Deelschema van de voeding.



variabelen aanmaken volgens het volgende schema:

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ export IDF_PATH=~/esp/esp-idf
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ export PATH="$PATH:$HOME/esp/xtensa-esp32-elf/bin"
```

De twee opdrachten moeten handmatig worden ingevoerd in elk (nieuw geopend) terminalvenster (als u tenminste de algemene instellingen van de computer niet wilt wijzigen).

### Demo-programma zonder ULP

Het volgende punt is het meten van het stroomverbruik. Dit is het Hello World-voorbeeld, dat door Espressif wordt meegeleverd als onderdeel van de ontwikkelomgeving op uw computer — dank daarvoor. Onder Unix kan het worden klaargemaakt door de volgende twee opdrachten in te voeren. In de eerste stap gaan we naar de ‘root directory’, om vervolgens de projectcode uit de map *examples* naar de map van de ESP32-programmeeromgeving te kopiëren:

```
tamhan@TAMHAN14:~$ cd ~/esp
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ cp -r $IDF_PATH/examples/get-started/hello_world .
```

Merk op dat de punt aan het einde van het `copy`-commando geen drukfout is. Een enkele punt in Unix staat voor de huidige map — de opdracht geeft het besturingssysteem op deze manier opdracht de voorbeelddirectory naar de huidige werkmap te kopiëren.

De volgende stap is ervoor te zorgen dat de compilatie slaagt. Voor de noodzakelijke voorinstellingen gebruiken we de opdracht `menuconfig`, die als volgt kan worden gestart:

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ cd hello_world/
tamhan@TAMHAN14:~/esp/hello_world$ make menuconfig
```

Na de automatische compilatie van enige hulpbestanden navigeert u in het menu naar de sectie *Serial flasher config* > *Default serial port*, waar u de poort definieert die moet worden gebruikt — onder Unix is dat in veel gevallen al correct voorinsteld.

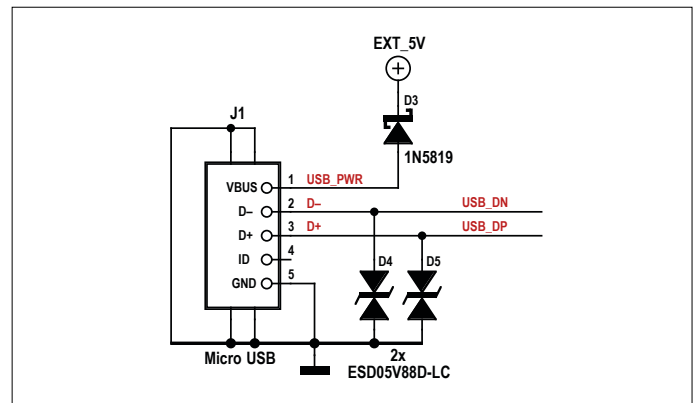
Sla vervolgens de instellingen op en sluit `Menuconfig`. De compilatie van ESP32-firmware gebeurt met het commando `make` (wat prettig is voor ontwikkelaars omdat `make` in het algemeen heel efficiënt parallel werkt):

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp/hello_world$ make flash -j8
```

De parameter `-j8` geeft de tool opdracht om acht threads te gebruiken. Op het AMD-werkstation met acht cores van de auteur leidde dit tot een vrijwel optimaal gebruik van het systeem.

`make flash` levert automatisch de compilatie aan de ESP32. Als u de code van het Hello World-voorbeeld opent, ziet u veel `printf`-commando's:

```
void app_main()
{
    printf("Hello world!\n");
}
```



Figuur 3. Een hoog niveau op diode D3 — de USB-voeding kan hier onderbroken worden.

```
esp_chip_info_t chip_info;
esp_chip_info(&chip_info);
printf("This is ESP32 chip with %d CPU cores,
WiFi%s%s, ",
. . .
```

De uitvoer kan bij bestaande USB-verbinding worden opgehaald door “make monitor” in te toetsen — om de werkomgeving te verlaten toetst u `Ctrl + J` in.

### Stroomverbruik

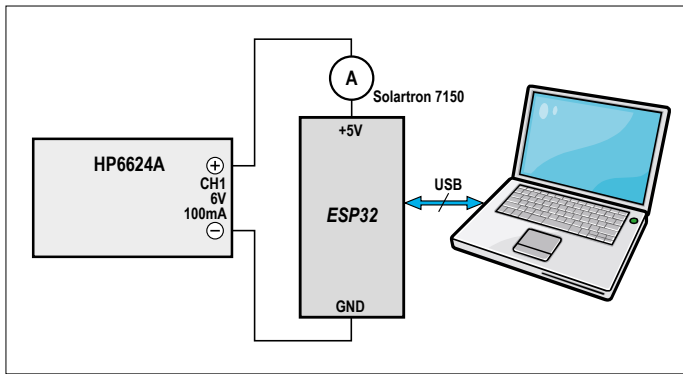
Op dit punt zijn we al klaar om het stroomverbruik te meten. Het schema van onze DevKit is te vinden op [5]; Het deelschema van **figuur 2** laat zien dat de vereiste 3,3-V-voedingsspanning wordt gegenereerd door een LDO.

In theorie zou u nu de USB-voeding van de computer moeten loskoppelen, maar dan raakt u ook de debug-verbinding kwijt. Maar het kan ook anders. In **figuur 3** is te zien hoe de USB-poort van het bord is aangesloten. Als we niet te veel eisen stellen aan de meetnauwkeurigheid kan diode D3 worden gebruikt om de voeding van de PC ‘schaakmat’ te zetten. Neem vervolgens, zoals weergegeven in **figuur 4**, een laboratoriumvoeding met stroombegrenzing en een ampèremeter in op de ‘verbinding’ op.

Bij correcte aansluiting meet de Solartron 7150 van de auteur een stroom van ongeveer 48 mA — omdat de DevKitC een LED en enkele andere gadgets voedt, kunt u dit zuiniger maken

## Boem!

Wie voor de voeding van de meetopstelling — zoals de auteur — een HP 6624A gebruikt, moet de netvoeding ‘hard’ uitschakelen, door de aansluiting te onderbreken. Wanneer u op *Output Disable* drukt, lopen er nog aanzienlijke vereffeningstromen (tot 5 A, afhankelijk van de hub) van de USB-poort naar de voeding; dit is niet erg gunstig voor de gezondheid van de meter. De Solartron 7150 heeft een 2-A-zekering; die waarde wordt doorgaans niet bereikt, maar iedereen die met een kleine 200-mA-multimeter meet, kan nu een nieuwe zekering gaan kopen.



Figuur 4. Met deze opstelling kan het stroomverbruik gemeten worden.

Mode	Min	Typ	Max	Unit
Transmit 802.11b, DSSS 1 Mbps, POUT = +19.5 dBm	-	240	-	mA
Transmit 802.11b, OFDM 54 Mbps, POUT = +16 dBm	-	190	-	mA
Transmit 802.11g, OFDM MCS7, POUT = +14 dBm	-	180	-	mA
Receive 802.11b/g/n	-	95 ~ 100	-	mA
Transmit BT/BLE, POUT = 0 dBm	-	130	-	mA
Receive BT/BLE	-	95 ~ 100	-	mA

Figuur 5. WLAN is niet bepaald zuinig met energie (bron: Espressif, ESP32-datasheet [6]).

met een zorgvuldig ontwerp van een eigen print. Volgens het gegevensblad is in deze toestand, bekend als *Modem Sleep*, tussen 30 en 50 mA nodig. Als u de CPU-snelheid verlaagt tot 80 MHz kunt u 20 tot 25 mA verwachten — en bij 2 MHz daalt het stroomverbruik tot 2...4 mA.

Dit is natuurlijk alleen van toepassing zolang de WLAN-zender is uitgeschakeld. Wanneer de draadloze modules zijn ingeschakeld, komt het op de bedrijfsmodus van de ESP32 aan. Aangezien de meting hier moeilijk is, toont figuur 5 informatie uit de datasheet [6].

## De ULP

De Arduino Yun maakte het concept van combinatorische procescomputers populair. Het idee is even simpel als geniaal: de microcontroller bestaat uit verschillende modules die naar behoefte kunnen worden geactiveerd.

In het geval van de ESP32 is er naast een "Xtensa" geheten hoofd-CPU ook een add-on module met de naam RTC, waarin een speciale ULP-processor — de afkorting staat voor Ultra Low Power — is ondergebracht. Dat is een sub-IC met een eigen SRAM-geheugen en dat onafhankelijk van de hoofdprocessor werkt en zelfs toegang heeft tot sommige perifere functies. Het idee erachter is dat de ontwikkelaar indien nodig de hoofdprocessor uitschakelt en de bewaking delegeert aan de uiterst zuinige RTC-module. Als deze iets detecteert dat interessant is, worden de krachtige processors gereactiveerd. Dankzij het gedeelde geheugenbereik is het ook mogelijk om gegevens aan RTC- en Xtensa-zijde gemeenschappelijk te gebruiken.

Als u meer wilt weten over de RTC-module, dan heeft u niet veel aan de datasheet. De uitgebreide technische beschrijving van Espressif is te vinden in het referentie-handboek, dat u (ten tijde van het ter perse gaan van dit nummer) kunt down-

loaden van [7]. Meer informatie over de opbouw is te vinden onder [8] — gebruik het bestand als een 'kapstok' voor uw eigen ontwikkelingen.

In dat handboek ontdekken we dat de ULP een eindige toestandsmachine is die is uitgerust met één werk- en drie halve werkregisters en die ons opvrolijkt met een niet vaak meer toegepaste assemblertaal: C-programmering is niet mogelijk.

Op dit punt willen we eerst een kleine demo realiseren die de interactie tussen ULP en de hoofdprocessor laat zien. We doen dit met behulp van een gemeenschappelijke tellervariabele, die door de beide 'zijden' van de ESP32 wordt gedeeld.

We gaan ons *hello\_world*-voorbeeld in de volgende stappen uitbreiden. Maak in de eerste stap een subdirectory "ulp" in de map "main" aan, die voorlopig leeg blijft. Open vervolgens het bestand *main/component.mk* en pas de inhoud ervan als volgt aan:

```
# . . .
# (Uses default behaviour of compiling all source
# files in directory, adding 'include' to include
# path.)
ULP_APP_NAME ?= ulp_$(COMPONENT_NAME)
ULP_S_SOURCES = $(COMPONENT_PATH)/ulp/
                ulp_source_file.S
ULP_EXP_DEP_OBJECTS := main.o
include $(IDF_PATH)/components/ulp/component_ulp_
                common.mk
```

Zolang we te maken hebben met een ULP-programma, kan het make-snippet van Espressif zonder commentaar in uw project gebruikt worden. Het maakt gebruik van het bestand *ulp\_source\_file.S* in de submap */ulp* en neemt dit mee in het compilatieproces.

Nadat u het assembler-bestand hebt gemaakt, moet u drie headers invoegen. Espressifs Toolchain assembleert met behulp van de preprocessor, die anders verschillende foutmeldingen uitspuugt:

```
#include "soc/rtc_cntl_reg.h"
#include "soc/rtc_io_reg.h"
#include "soc/soc_ulp.h"
```

De rest van het eerste assemblerbestand ziet er dan zo uit:

```
.bss

.global acti_count
acti_count:
    .long 0
```

Op dit punt zien we twee relevante delen. Ten eerste, het (hier lege) *.bss*-deel, waarvan de afwezigheid ertoe leidt dat de ULP-processor het bestand vindt, maar de uitvoering zonder commentaar weigert. Dit wordt gevolgd door een stukje code dat een globale variabele genereert, die door Xtensa en ULP

gemeenschappelijk wordt gebruikt. Met deze kennis gewapend kunnen we ons met de eigenlijke code gaan bezighouden:

```
/* Code goes into .text section */
.text
.global entry
entry:
    move r3, acti_count
    ld r0, r3, 0
    add r0, r0, 1
    st r0, r3, 0
```

ULP-processoren zijn zestienbitters: dit is voor ons relevant omdat we een deel van het register niet te zien krijgen. In de eerste stap verplaatsen we het adres van `acti_count` naar het halve werkregister R3 en gebruiken het vervolgens om de waarde te laden. Deze wordt opgehoogd met behulp van `add` en dan teruggeschreven naar `acti_count`.

Tenslotte wordt het Xtensa-deel gewekt. Hier hebben we te maken met een klein probleem — wake-opdrachten kunnen alleen worden verwerkt nadat de kern met succes is in de slaap-modus is gebracht. Daarom wekt onze code uitsluitend nadat de SOC via het betreffende register heeft aangegeven dat hij slaapt:

```
/* Check if the SoC has said INRI already */
READ_RTC_REG(RTC_CNTL_DIAG0_REG, 19, 1)
and r0, r0, 1
jump exit, eq
wake
WRITE_RTC_FIELD(RTC_CNTL_STATE0_REG, RTC_CNTL_
ULP_CP_SLP_TIMER_EN, 0)
halt

exit:
    halt
halt
```

## De C-zijde

Vervolgens keren we terug naar `hello_world_main.c`, waarin enkele headers zijn opgenomen:

```
#include "esp_sleep.h"
#include "nvs.h"
#include "nvs_flash.h"
#include "soc/rtc_cntl_reg.h"
#include "soc/rtc_io_reg.h"
#include "soc/sens_reg.h"
#include "soc/soc.h"
#include "driver/gpio.h"
#include "driver/rtc_io.h"
#include "esp32/ulp.h"
#include "ulp_main.h"
```

`ulp_main` wordt gegenereerd door het Makefile: het bestand heeft alles aan boord wat nodig is voor het verwerken resp. adresseren van het ULP-programma vanaf de C-zijde.

Op dit punt zijn enkele fundamentele keuzes nodig. Het Xtensa-deel van onze microcontroller bevat een grote hoeveelheid RAM, het instandhouden waarvan enorm veel energie kost. Om zoveel mogelijk energie te besparen brengt Espressif de voeding van het werkgeheugen in slaap — helaas gaat de inhoud ervan daardoor verloren. Daarom is de eerste officiële actie van ons programma het controleren van de oorzaak van het ontwaken:

```
void app_main() {
    //Init check
    esp_sleep_wakeup_cause_t cause =
    esp_sleep_get_wakeup_cause();
    if (cause != ESP_SLEEP_WAKEUP_ULP) {
        printf("Clean boot\n");
        init_ulp_program();
    } else {
        printf("Start caused by ULP\n");
        printf("Counter %u \n", ulp_acti_count &
UINT16_MAX);
    }
}
```

Belangrijk hierbij is het maskeren van de waarde in `ulp_acti_count`: die is, zoals elk register van de Xtensa, 32 bits breed — maar omdat de ULP alleen de eerste zestien bits beschrijft, moeten we de ‘ongedefinieerde rest’ maskeren.

Het inslapen vindt in twee stappen plaats. In de eerste stap instrueren we de powermanagement-logica om startopdrach-

## Te complex!

Als u niet op Makefile-niveau wilt werken (of te maken hebt met heel oude voorbeeldcode), dan kunt u gebruik maken van de inmiddels door Espressif beschikbare gestelde macro's. Een ULP-programma heeft dan de vorm van een array van instructies:

```
const ulp_insn_t program[] = {
    I_MOVI(R3, 16),
    I_LD(R0, R3, 0),
    I_LD(R1, R3, 1),
    I_ADDR(R2, R0, R1),
    I_ST(R2, R3, 2),
    I_HALT()
};
```

Dit wordt gevolgd door een min of meer gestandaardiseerd stukje C-code, die de grootte van het programma in instructies berekent en vervolgens vrijgeeft voor uitvoering. Zorg ervoor dat u altijd de berekening van de grootte uitvoert zoals hier aangegeven - sommige macro's worden uitgepakt naar twee afzonderlijke opdrachten:

```
size_t load_addr = 0;
size_t size = sizeof(program)/sizeof(ulp_insn_t);
ulp_process_macros_and_load(load_addr, program,
&size);
ulp_run(load_addr);
```

```
tamhan@TAMHAN14: ~/esp/hello_world
tamhan@TAMHAN14:~/esp/hello_world$ make flash
CPP main/ulp/ulp_source_file.S
ULP_AS build/main/ulp_source_file.ulp.o
make[1]: esp32ulp-elf-as: Command not found
make[1]: *** [ulp_source_file.ulp.o] Error 127
make: *** [component-main-build] Error 2
tamhan@TAMHAN14:~/esp/hello_world$
```

Figuur 6. Hier ontbreekt een module...

RTC GPIO Num	GPIO Num	Pad Name	Analog Function		
			1	2	3
0	36	SENSOR_VP	ADC_H	ADC1_CH0	-
1	37	SENSOR_CAPP	ADC_H	ADC1_CH1	-
2	38	SENSOR_CAPN	ADC_H	ADC1_CH2	-
3	39	SENSOR_VN	ADC_H	ADC1_CH3	-
4	34	VDET_1	-	ADC1_CH6	-
5	35	VDET_2	-	ADC1_CH7	-
6	25	GPIO25	DAC_1	ADC2_CH8	-
7	26	GPIO26	DAC_2	ADC2_CH9	-
8	33	32K_XN	XTAL_32K_N	ADC1_CH5	TOUCH8
9	32	32K_XP	XTAL_32K_P	ADC1_CH4	TOUCH9
10	4	GPIO4	-	ADC2_CH0	TOUCH0
11	0	GPIO0	-	ADC2_CH1	TOUCH1
12	2	GPIO2	-	ADC2_CH2	TOUCH2
13	15	MTDO	-	ADC2_CH3	TOUCH3
14	13	MTCK	-	ADC2_CH4	TOUCH4
15	12	MTDI	-	ADC2_CH5	TOUCH5
16	14	MTMS	-	ADC2_CH6	TOUCH6
17	27	GPIO27	-	ADC2_CH7	TOUCH7

Figuur 7. De tabel toont de pinnen die vanuit de ULP aangesproken kunnen worden (bron: Espressif, [7]).

ten van de ULP te accepteren. Daarna starten we het ULP-programma en leggen we de hoofdprocessor in bed:

```
//Good night
ESP_ERROR_CHECK( esp_sleep_enable_ulp_wakeup() );
ESP_ERROR_CHECK( ulp_run((&ulp_entry - RTC_SLOW_
MEM) / sizeof(uint32_t)));
esp_deep_sleep_start();
}
```

De initialisatie van het ULP-programma gaat ook in meerdere stappen. We beginnen met het opnemen van twee constanten die door de Makefile zijn gegenereerd. Vervolgens wordt `ulp_load_binary` aangeroepen om de bronnen te laden:

```
extern const uint8_t ulp_main_bin_start[]
asm("_binary_ulp_main_bin_start");
extern const uint8_t ulp_main_bin_end[]
asm("_binary_ulp_main_bin_end");
void init_ulp_program()
{
    esp_err_t err = ulp_load_binary(0, ulp_main_bin_
start, (ulp_main_bin_end - ulp_main_bin_start) /
sizeof(uint32_t));
    ESP_ERROR_CHECK(err);
    . . .
}
```

Als u ons programma in deze toestand probeert te compileren, krijgt u de foutmelding van **figuur 6** — de ‘normale’ te downloaden componenten bevatten (bij het ter perse gaan van dit nummer) niet de modules die vereist zijn voor de ULP. Ga daarom naar de portal die beschikbaar is op [9] en download het juiste bestand voor uw platform. Pak het archief vervolgens uit in `/esp` en voeg het toe aan het pad:

```
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ ls
esp32ulp-elf-binutils esp-idf hello_world
xtensa-esp32-elf
tamhan@TAMHAN14:~/esp$ export PATH="$PATH:$HOME/esp/
esp32ulp-elf-binutils/bin"
```

Ga daarna terug naar `make menuconfig` en activeer de optie *Component Config-Y ESP32-Specific* → “Enable Ultra Low Power (ULP) Coprocessor”. `make menuconfig` voegt dan “(512) RTC slow memory reserved for coprocessor” in — deze geheugenlocatie blijft bestaan.

### Voorwaarts mars en stop!

Iedereen die het programma in de huidige toestand uitvoert, merkt dat de teller wordt opgehoogd in stappen van drie. Dit komt omdat de timer al begint te lopen als `ulp_run` wordt aangeroepen — maar totdat de hoofdprocessor wordt afgesloten verloopt nog enige tijd. Wake-commando’s die dan binnenkomen hebben geen effect — de ULP blijft dan in een soort oneindige lus waarin driemaal wordt geïncrementeerd.

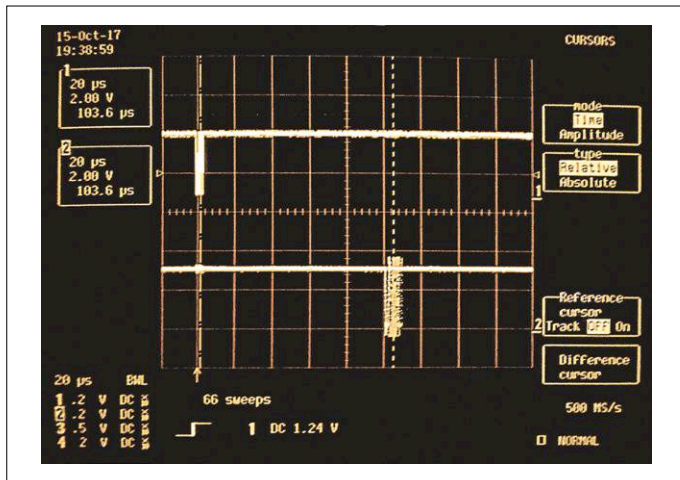
Om dit probleem op te lossen, volstaat het om naar boven te springen bij het vaststellen van het ‘niet-dood-zijn’ en dus ‘actief’ te wachten:

```
exit:
/* Check if the SoC has said INRI already */
READ_RTC_REG(RTC_CNTL_DIAG0_REG, 19, 1)
and r0, r0, 1
jump exit, eq
wake
WRITE_RTC_FIELD(RTC_CNTL_STATE0_REG, RTC_CNTL_
ULP_CP_SLP_TIMER_EN, 0)
halt
```

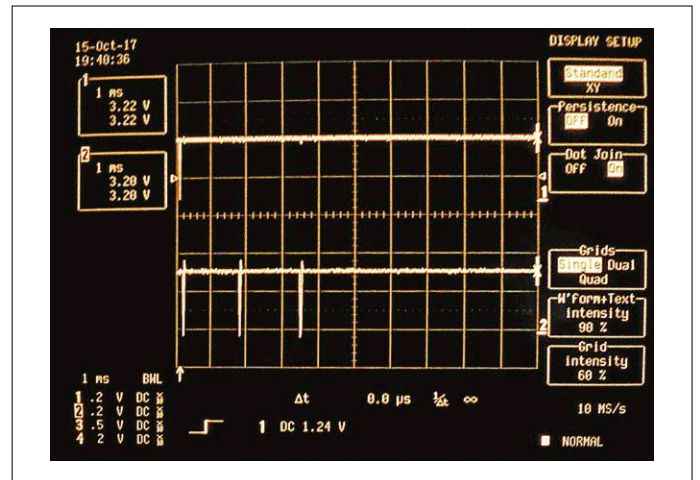
De auteur kon de verleiding niet weerstaan om de tijd te bepalen die verloopt tot het stoppen van de MCU. Sommige GPIO-pinnen van de ESP32 zijn als ‘hermafrodiet’ uitgevoerd en kunnen zowel door de RTC-module als door de hoofd-CPU worden aangesproken — de tabel van **figuur 7** toont welke pinnen dit zijn. De initialisatie van dergelijke pinnen gebeurt via een speciale API, die zich door de prefix `RTC` onderscheidt.

Merk op dat de pincode-ID’s die hier (aan de ESP32-zijde) worden doorgegeven, ESP32 GPIO-pinnen beschrijven:

```
void init_ulp_program() { . . .
    ulp_acti_count=0;
    rtc_gpio_init(cpu_num);
    rtc_gpio_set_direction(cpu_num,
```



Figuur 8. Tussen het stoppen met togglen aan de ESP-Xtensa-zijde (CH1) en de start van de verwerking aan de ULP-zijde verlopen ongeveer 100 µs.



Figuur 9. De drie activeringen van de ULP-routine zijn op dit screenshot duidelijk te zien.

```
RTC_GPIO_MODE_OUTPUT_ONLY);
rtc_gpio_set_level(cpu_num, 1);

rtc_gpio_init(ulp_num);
rtc_gpio_set_direction(ulp_num,
RTC_GPIO_MODE_OUTPUT_ONLY);
rtc_gpio_set_level(ulp_num, 1);
```

Tussen de blokken Init check en Good night plaatsen we dan code die een karakteristieke golfvorm uitvoert die we met een oscilloscoop zichtbaar kunnen maken:

```
//BlinkBlink
rtc_gpio_hold_dis(cpu_num);
char bctr=0;
while(bctr<4){
    rtc_gpio_set_level(cpu_num, 0);
    rtc_gpio_set_level(cpu_num, 1);
    bctr++;
}
rtc_gpio_hold_en(cpu_num);
```

Espressif heeft de GPIO-pinnen voorzien van met een functie met de naam *HOLD*: als u deze vlag zet, geeft u de GPIO-engine opdracht om de status van deze pen ook tijdens een overgang tussen ULP en ESP32 vast te houden.

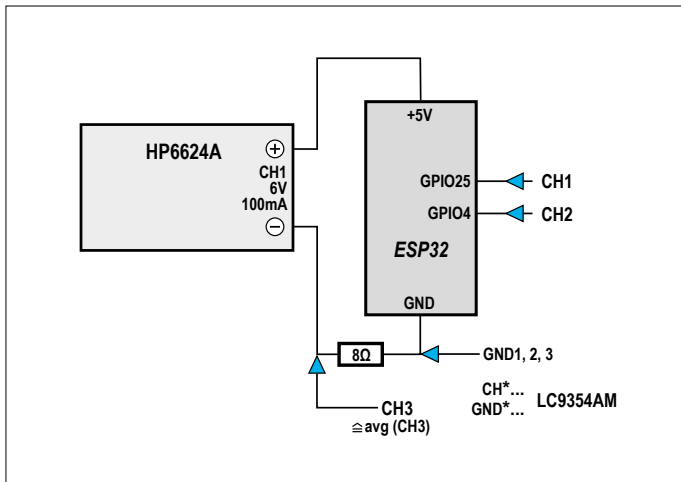
Vervolgens moeten we ervoor zorgen dat het ULP-deel van de ESP32 ook op de oscilloscoop verschijnt. In *ulp\_source\_file.S* zetten we in plaats van de incrementcode het volgende blok, dat een in en uit-schakeloperatie uitvoert:

```
WRITE_RTC_REG(RTC_IO_TOUCH_PAD0_REG,RTC_IO_TOUCH_
PAD0_HOLD_S,1,0)
WRITE_RTC_REG(RTC_GPIO_OUT_W1TS_REG,RTC_GPIO_OUT_
DATA_W1TS_S+10,1,1)
WRITE_RTC_REG(RTC_GPIO_OUT_W1TC_REG,RTC_GPIO_OUT_
DATA_W1TC_S+10,1,1)
WRITE_RTC_REG(RTC_GPIO_OUT_W1TS_REG,RTC_GPIO_OUT_
DATA_W1TS_S+10,1,1)
```

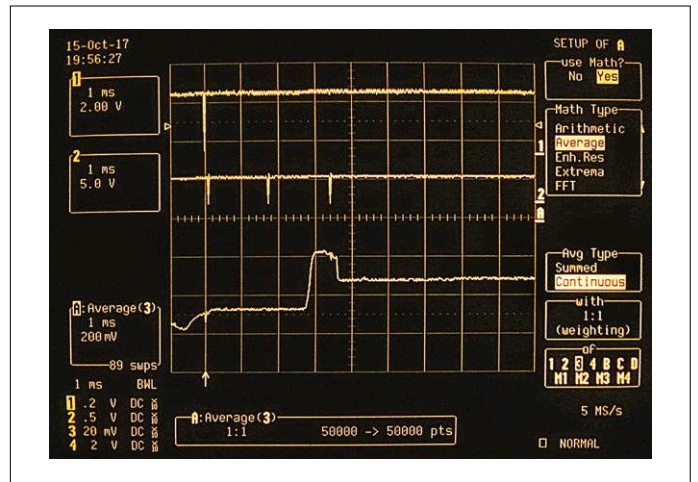
Wanneer we het programma in de ESP32 laden, geeft de oscilloscoop aan hoeveel tijd verstrijkt tussen het slaapcommando en de activering van de ULP-routine (**figuur 8**). **Figuur 9** toont de situatie met een wat grotere tijdbasis. We zien dat de ULP-routine in totaal drie keer wordt geactiveerd (wat het incremente-

### Weblinks

- [1] [www.elektor.de/esp32-devkitc](http://www.elektor.de/esp32-devkitc)
- [2] [www.elektormagazine.nl/160454](http://www.elektormagazine.nl/160454)
- [3] <http://esp-idf.readthedocs.io/en/latest/get-started/index.html#get-started-connect>
- [4] [www.silabs.com/products/development-tools/software/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers](http://www.silabs.com/products/development-tools/software/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers)
- [5] [https://dl.espressif.com/dl/schematics/ESP32-Core-Board-V2\\_sch.pdf](https://dl.espressif.com/dl/schematics/ESP32-Core-Board-V2_sch.pdf)
- [6] [http://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](http://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- [7] [http://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](http://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)
- [8] [https://github.com/krzychb/ulp-loop/blob/master/main/ulp/loop\\_blink.S](https://github.com/krzychb/ulp-loop/blob/master/main/ulp/loop_blink.S)
- [9] <https://github.com/espressif/binutils-esp32ulp/wiki#downloads>
- [10] [www.elektor.tv](http://www.elektor.tv)



Figuur 10. Met deze opstelling kunnen we aantonen dat wij stroom besparen terwijl de Xtensa-kern slaapt. Pas op: de GND's van de oscilloscopie zijn met elkaar verbonden!



Figuur 11. Het afschakelen van de Xtensa-kern is goed te zien doordat trace 3 dichtbij de nullijn komt.

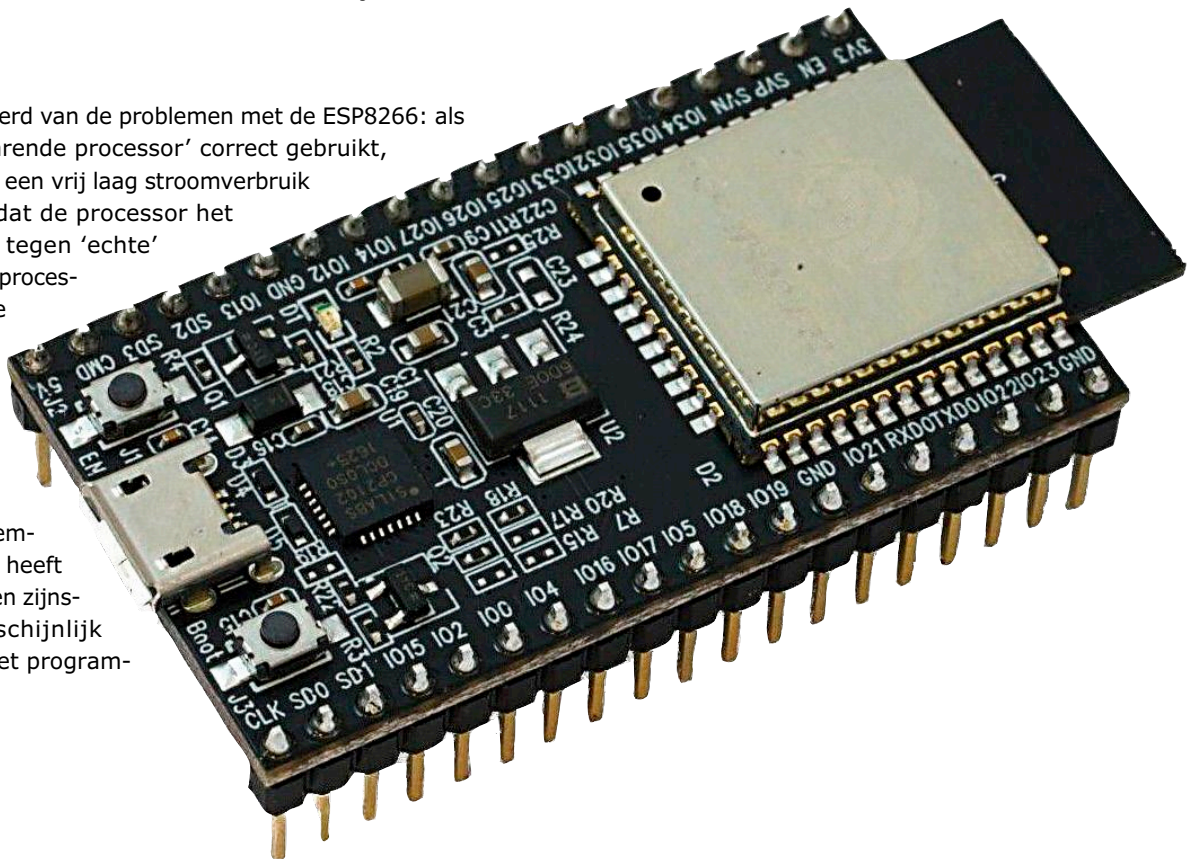
ren van de teller met telkens de waarde 3 verklaart). Maar nu willen we ook zien dat we daadwerkelijk stroom besparen! Daartoe nemen we aan de massazijde een 8-Ω-weerstand in serie op zodat de meetopstelling van **figuur 10** ontstaat. Op het scherm van de oscilloscoop kunnen we zien dat bij het 'slapen gaan' van de Xtensa-kern trace 3 de nullijn nadert (**figuur 11**).

### Conclusie

Expressif heeft geleerd van de problemen met de ESP8266: als u de 'energiebesparende processor' correct gebruikt, kunt u de ESP32 op een vrij laag stroomverbruik instellen. Het feit dat de processor het niet opnemen kan tegen 'echte' energiebesparende processoren volgt al uit de zeer uitgebreide functionaliteit — WLAN is bepaald niet ontworpen als een low-power draadloze interface. Iedereen die op assembleerniveau ervaring heeft opgedaan met PIC en zijns-gelijken zal waarschijnlijk snel wennen aan het program-

meren van de ULP. Dit is een (late) bevestiging voor degenen die — net als ik — van mening zijn dat assembler-programmering op achtbitters een goede voorbereiding is voor het werken met hogere programmeertalen op MCU's. ◀

(160549)



### Een video!

Als u de omgang met *make* (te) lastig vindt, kunt u op [10] een korte video van de auteur bekijken waarin nader op de omgang met het product wordt ingegaan.

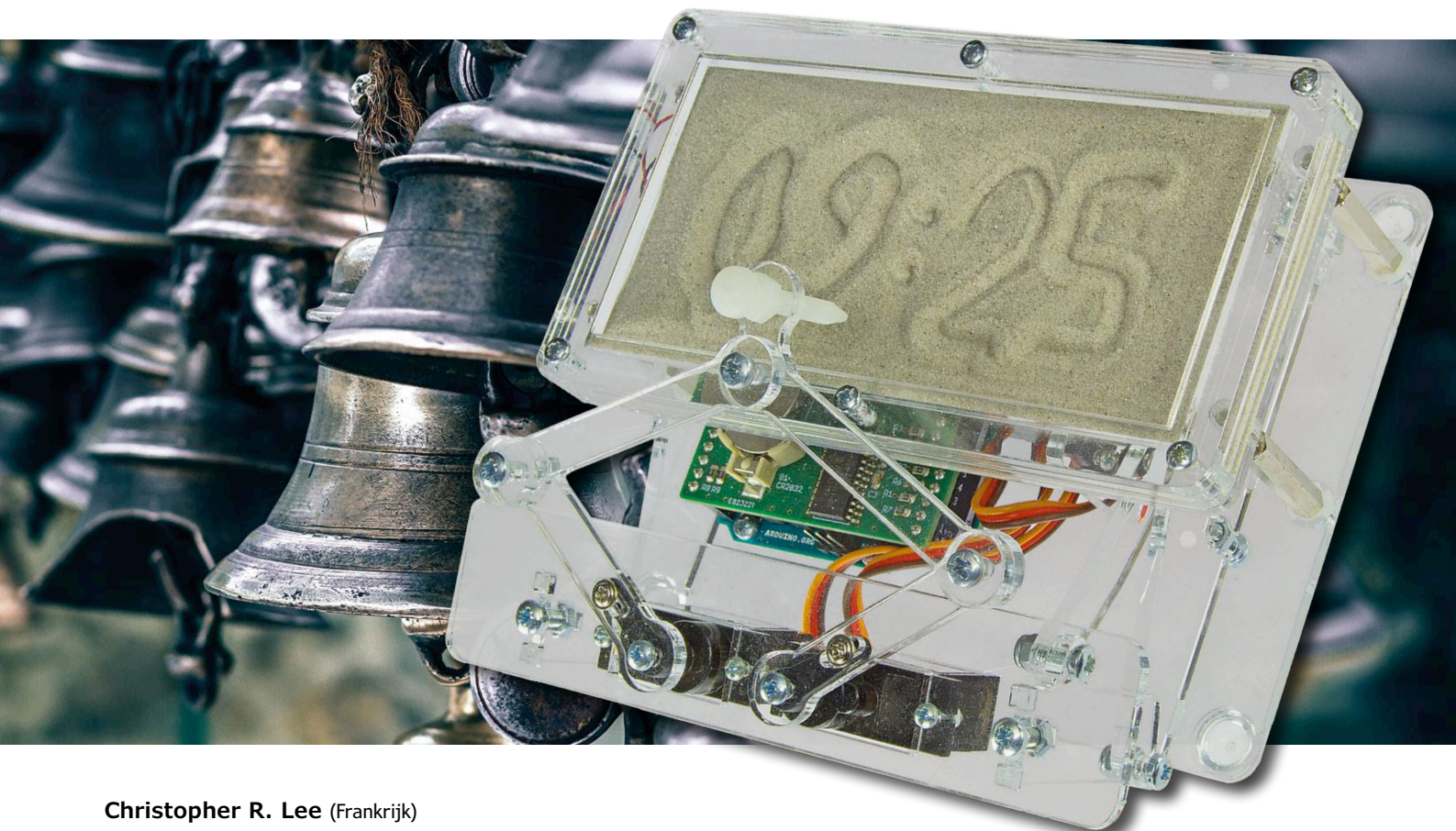


### IN DE STORE

→ ESP32 DevKitC  
[www.elektor.de/esp32-devkitc](http://www.elektor.de/esp32-devkitc)

# Klokkenspel voor de Elektor-zandklok

## schudden, rammelen en piepen



**Christopher R. Lee** (Frankrijk)

Ik bestelde de Elektor-zandklok meteen toen hij uit kwam — een heerlijk maf ding voor onder de kerstboom. Het geproduceerde lawaai maakt hem echter minder geschikt voor thuis- of kantoorgebruik. In dit artikel maken we hem zelfs nog wat luidruchtiger door toevoeging van een klokkenspel.

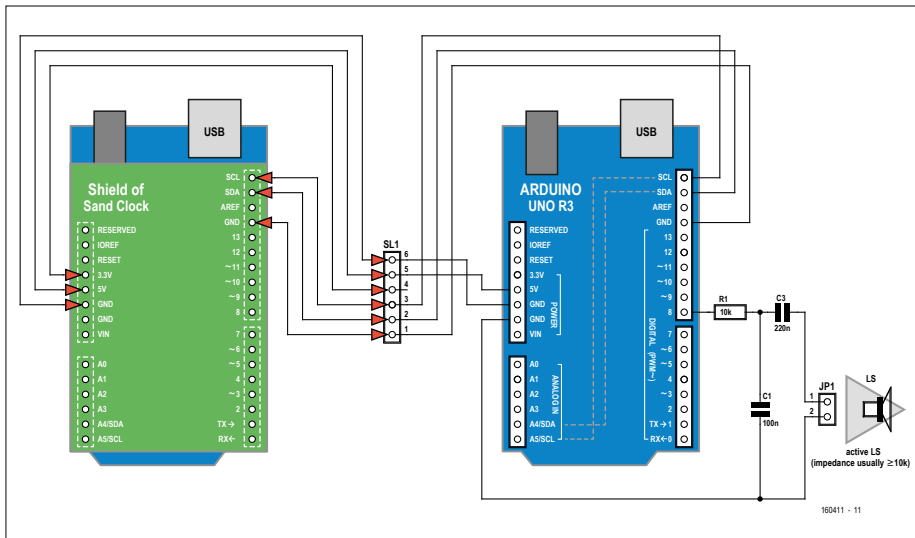
Na het opbouwen van de zandklok [1] was mijn eerste neiging, zoals met elke waardevolle gadget, om enkele toeters en bellen of — in dit geval — klokken toe te voegen! Omdat men niet te ambitieus moet zijn bij het modificeren van een goed opgezet project, zijn de klokken misschien wel heel erg digitaal uitgevallen...

### **Keuze voor een geluidssysteem**

Een ouderwetse mechanische klok slaat elk kwartier, de melodie wordt langer

naarmate het hele uur nadert. Lezers die bekend zijn met de Big Ben (die momenteel heel stil is) zullen de reeks van de viertonige melodie kennen die bekend staat als de *Westminster quarters* of *Westminster chimes*; ik heb deze gekozen maar men kan zijn of haar eigen melodie instellen. Het uurwerk 'weet' wanneer het geluidssignaal net voor elk kwartier moet worden gestart, en de eerste *boing* van de urenklok (of *koekoek*) hoort precies op het uur te starten.

Ik heb overwogen om de pantograaf van de zandklok te programmeren om op het juiste tijdstip op een aantal gongs te slaan (of een xylofoon te bespelen of een paar snaren te tokkelen). Het zou kunnen met de geprogrammeerde commando's maar ik heb dat plan snel weer laten varen, want je hebt daar een soort van echappement voor nodig en ik mis hiervoor helaas de bewonderenswaardige vaardigheden van vroegere klokkenmakers of instrumentbouwers.



Figuur 1. Zo heb ik een Arduino als slaaf aan de zandklok gekoppeld.

Hoewel software nooit echte muziekinstrumenten zal vervangen, kunnen we toch de Arduino-familie min of meer 'acceptabele' geluiden laten genereren met behulp van de Mozzi-soundsynthese-bibliotheek [2]. Voor een eerste poging heb ik ervoor gekozen om de ingebouwde Tone-functie van de Arduino te gebruiken.

### Interfaceren met de zandklok

Het leek me verstandig om zo min mogelijk aanpassingen te doen aan de hardware en software van de zandklok, en de relevante data naar een afzonderlijke Arduino Uno te sturen. Elke andere Arduino zou met deze eenvoudige applicatie uit de voeten moeten kunnen, en ik zou willen voorstellen om voor een permanente opstelling de goedkoopste versie te gebruiken. Bij de in **figuur 1** geschetste opstelling **moet** het echter een 5-V-type zijn.

De communicatie verloopt via de I<sup>2</sup>C-



Figuur 2. Duidelijk labelen van verbindingen voorkomt veel fouten.

bus, omdat deze al is 'gedecleard' voor communicatie tussen de hardwareklok op het shield en de Arduino. Om de uren en minuten te kunnen verzenden, heb ik een 6-pens flatcableconnector (**figuur 2**) met een female header rechtstreeks op de SCL-, SDA- en de voedingspennen gesoldeerd van het shield dat al was gemonteerd. Als u nog niet bent begonnen met de montage, is er mogelijk voldoende ruimte voor haakse headers die wat flexibeler connector-opstelling mogelijk maken; de bij de Arduino gebruikelijke 'stacked' headers zijn te lang. De flatcable (en de connectors die ik heb toegevoegd om de zandbak afneembaar te maken) komen naar buiten via een sleuf die ik in de achterplaat heb aangebracht (**figuur 3**).

### Een goede gewoonte: pas bij het koppelen van microcontrollers altijd een isolator toe

Ik koppelde de twee Arduino's door middel van een rechtstreekse verbinding van hun SCL- en SDA-I<sup>2</sup>C-pennen plus de gemeenschappelijke massa via een enkele flatcable. Er zitten al pull-up weerstanden op de shield van de zandklok. Maar pas op: deze rechtstreekse koppeling is alleen mogelijk bij Arduino's met dezelfde voedingsspanning (hier 5 V); een 3,3-V-type zal vrijwel zeker de geest geven. Deze oplossing moet eigenlijk sowieso worden afgeraden omdat de USB-kabels voor het testen en de besturing een aardlus creëren met de voedingsnul. Het is beter om voor het koppelen van microcontrollers altijd een isolator te gebruiken. De onderdelen zijn goedkoop genoeg, maar ik kon in de catalogi geen 'through-ho-

le'-onderdelen vinden en ik vind mezelf te oud om nog met SMD-onderdelen te gaan priegelen. Ik had ook geen zin om € 20 neer te tellen voor een kant-en-klaar printje zoals dat van Elektor [3]; daarom besloot ik het risico maar te nemen. De SoftwareSerial-library was nog een optie (er wordt gebruik gemaakt van de interrupt-gestuurde hardwarematige seriële poort) omdat ik eerder al mijn eigen optisch geïsoleerde interface had gebouwd voor MIDI-toepassingen. Maar serieel is niet handig en het is misschien geen goed idee om code met een nauwkeurige timing toe te voegen aan het programma voor de zandklok.

De audio-uitgang van pen 8 is verbonden met een actieve luidspreker. Een laagdoorlaatfilter maakt het geluid nog wat, laten we zeggen, minder lelijk. In **figuur 4** kunt u mijn prototype bewonderen.

### De sketches

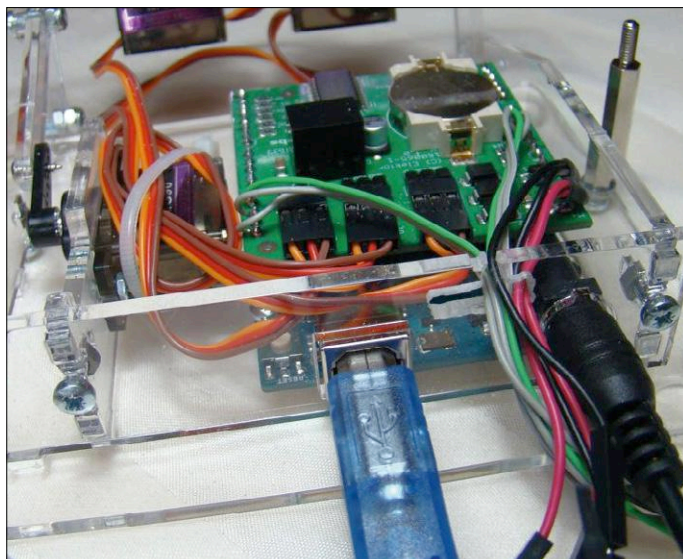
De software voor dit project kan worden gedownload van [4]. De sketch [sandclockBigBen.ino](#) is een versie van de originele zandklok-software met een paar extra regels code waarmee de vier bytes van de cijfers voor de uren en de minuten via de Wire-bibliotheek naar de Arduino worden gestuurd waarop het klokkenspel in de vorm van [BigBenI2C.ino](#) draait. Voor ontwikkeling en testen heb ik de sketch [wire\\_master\\_clockV2.ino](#) gebruikt om vier bytes via I<sup>2</sup>C te verzenden van een andere Arduino wanneer een karakter wordt ontvangen van de terminal. Er is ook een ontvanger-test-sketch [slave\\_receiver\\_clockV2.ino](#). Ik heb de twee instanties van Arduino op dezelfde computer uitgevoerd, zonder een I<sup>2</sup>C-isolator (zie hierboven).

De I<sup>2</sup>C-master is de Arduino van de zandklok, dus er is geen adres voor nodig. De gong-Arduino is ingesteld als slave op het eerste vrije adres 0x08. Dit adres doet er eigenlijk niet toe, tenzij u extra modules (weerstand...) met vaste adressen aansluit. De realtime-klok (RTC) ingebouwd in het zandklok-shield heeft het vaste adres 0x51. Terzijde: hoewel deze module temperatuurgecompenseerd en zeer nauwkeurig is, zou je een klok met een externe referentie op dezelfde bus kunnen aansluiten, waarschijnlijk via nog een goedkope Arduino.

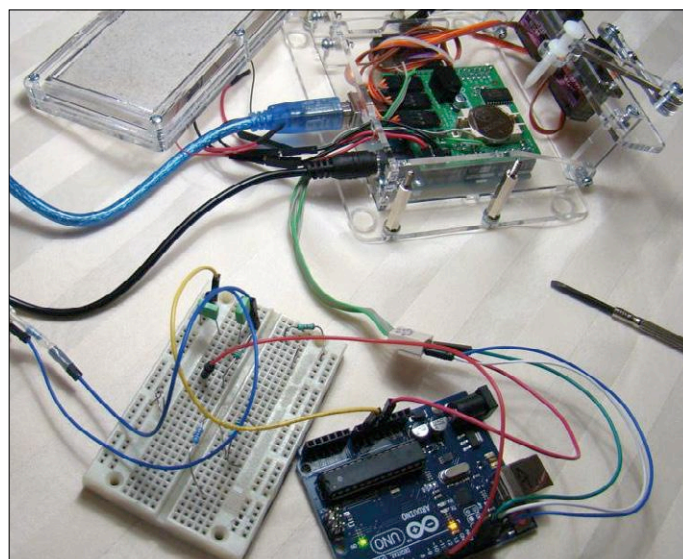
### Elk kwartier...

De zandklok is standaard geprogrammeerd om de tijd elke minuut in het zand te schrijven. Om klachten over het





Figuur 3. Ook al ben ik misschien niet zo handig met het bewerken van acryl (Plexiglas™) het is me toch gelukt de draden er doorheen te krijgen zonder de boel kapot te maken.



Figuur 4. Exploded view van mijn prototype.

lawaai voor te blijven, trilt en schrijft de sketch `sandclockBigBen15min.ino` elke 15 minuten de tijd in het zand (u kunt ook een ander interval programmeren). Het zandbed wordt net voor de laatste minuut opgeschud. (Ik heb de standaardwaarde van vijf seconden laten staan, maar ik had daar misschien beter een uitleesbare variabele van de zandklok van kunnen maken). We gaan er van uit dat het klokkenspel kort genoeg is om te beginnen op elke 14<sup>de</sup>, 29<sup>ste</sup>, 44<sup>ste</sup> en 59<sup>ste</sup> minuut en op tijd stopt voor het opschudden van het zandbed.

### Maak je eigen melodieën

De Tone-functie van de Arduino genereert een blokgolf met de frequentie van de opgegeven noot en met de opgegeven duur. De frequentie van elke noot staat in het library-bestand `itches.h`, dat aangepast kan worden om harmonisch zuivere intervallen te krijgen in plaats van de standaard gelijkzwevende noten – of om misschien komische foute noten te maken. Mijn software is muzikantvriendelijk, de duur van de noten wordt

berekend op basis van nootwaarden (4 = kwartnoot of crotchet, enzovoort). Omdat de belmelodieën kort zijn vond ik het niet de moeite waard om voor het invoeren daarvan een interface te maken.

Als u dat toch wilt doen, moet u de waarden in de overeenkomstige arrays `melodyx[]` en `noteDurationsx[]` wijzigen en die vervolgens opnieuw compileren. Er is ruimte voor langere melodieën en dat kan worden geregeld door het aanpassen van de arrays `noteOnx[]` en `noteLenx[]`. De duur en timing worden automatisch berekend (ik vond dat best moeilijk en de code kan daarom een klungelige indruk maken). Elke Tone-opdracht moet worden gevolgd door een vertraging die ten minste gelijk is aan de berekende duur. Ik heb voor alle zekerheid 2 ms extra toegevoegd.

### Meer zandklokverbeteringen

Volgens de ontwerpers van de zandklok was het moeilijkste mechanische probleem dat moest worden aangepakt het gladstrijken van het zand. Het positioneren van de vibratormotoren is een

empirisch proces en met mijn kit stroomt het zand af en toe naar één kant van de zandbak. De redenen daarvoor, evenals de neiging van ongesorteerd zand om zichzelf naar korrelgrootte te scheiden, zijn opgehelderd door Nobelprijswinnaar Pierre-Gilles de Gennes. Voor een bedrijfskritisch apparaat hebben we een meer voorspelbare oplossing nodig. Ik stel voor om de pantograaf te voorzien van een extra hulpmiddel dat het zand netjes opharkt, zoals in een olympische hinkstapsprong-zandbak. Als alternatief heeft iemand vast en zeker al een onafhankelijke kleine robot ontworpen die naar de bak kan rijden als hij wordt geroepen... Laat het ons als-tublieft weten!

Ten slotte is de RTC van de zandklok, de PCF2129A, een redelijk nauwkeurige component met verschillende functies (zoals alarm en tijdstempel) die nog niet zijn gebruikt. Het kan interessant zijn om deze opties ook beschikbaar te maken voor externe hardware. ◀

(160411)

#### Web links

- [1] Zandklok artikel: [www.elektormagazine.com/160065](http://www.elektormagazine.com/160065)
- [2] Mozzi sound synthesis library: [sensorium.github.io/Mozzi/](https://sensorium.github.io/Mozzi/)
- [3] I<sup>2</sup>C Isolator: [www.elektormagazine.com/labs/universal-i2c-bus-isolator-and-level-adapter-150089](http://www.elektormagazine.com/labs/universal-i2c-bus-isolator-and-level-adapter-150089)
- [4] Dit artikel: [www.elektormagazine.com/160411](http://www.elektormagazine.com/160411)



#### IN DE STORE

→ 160065-71  
Sand Clock

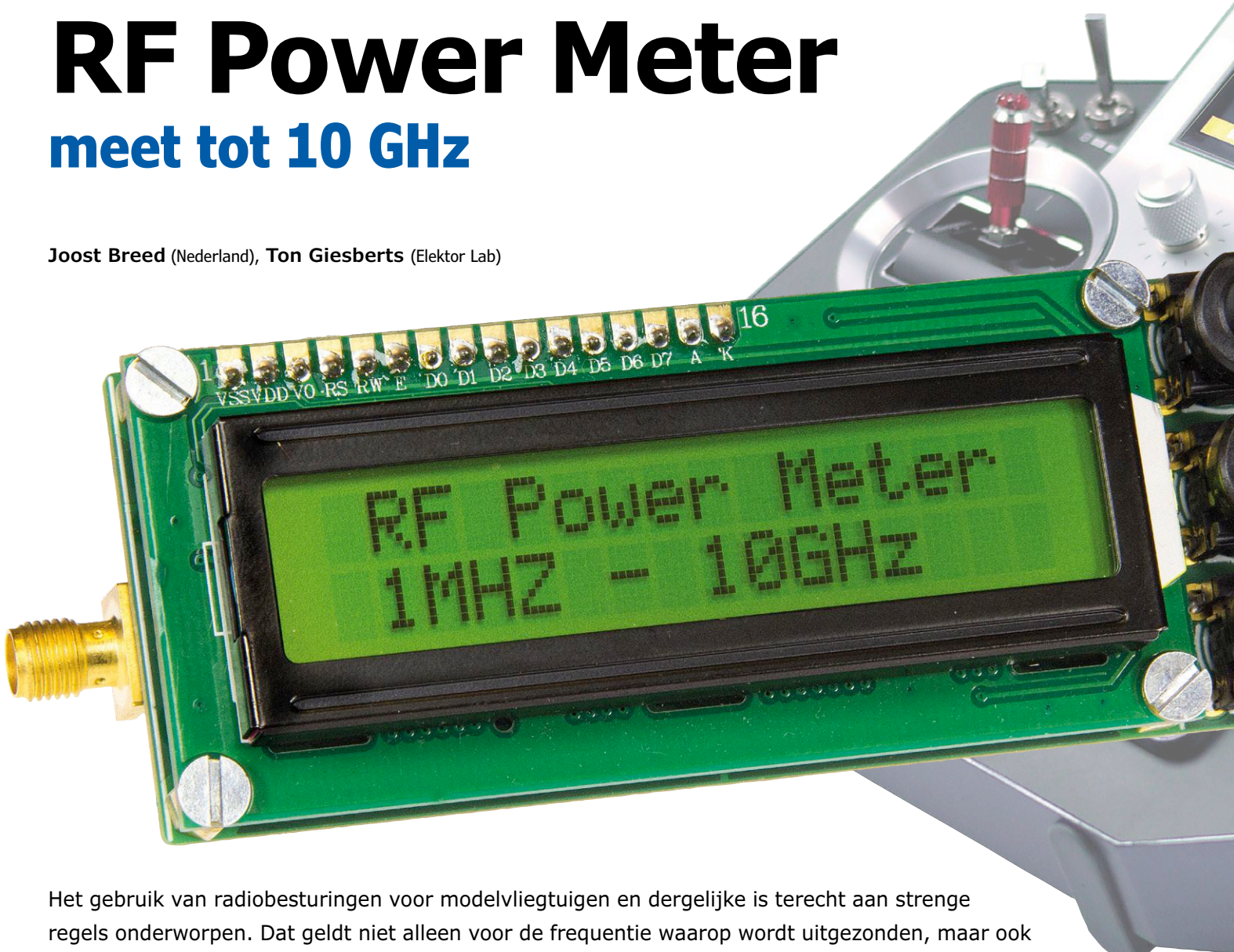
→ 150089-91  
I<sup>2</sup>C Bus Isolator en Level Adapter

→ SKU15877  
Arduino Uno R3

# RF Power Meter

## meet tot 10 GHz

Joost Breed (Nederland), Ton Giesberts (Elektor Lab)



Het gebruik van radiobesturingen voor modelvliegtuigen en dergelijke is terecht aan strenge regels onderworpen. Dat geldt niet alleen voor de frequentie waarop wordt uitgezonden, maar ook en vooral voor het vermogen dat de ether wordt ingeslingerd. Met deze RF-vermogensmeter kunt u eenvoudig controleren met welk vermogen u zendt, en dat voor frequenties tot 10 GHz.

### Eigenschappen

- RF-vermogensmeter
- Bandbreedte 1 MHz...10 GHz
- Dynamisch bereik 55 dB
- Compact: ca. 95 x 36 x 30 mm

De auteur is enthousiast lid van de modelvliegclub FMS Spaarnwoude, en de trotse bezitter van een octocopter met een spanwijdte van 1 meter, voorzien van een camera en live videolink. Voor

de radiobesturing van dat model, die in de 5,8-GHz-band werkt, bedraagt het maximale zendvermogen 25 mW. Dat is meer dan genoeg omdat modellen niet hoger mogen vliegen dan 100 m en te allen tijde in zichtbereik moeten zijn. Aangezien de thuisbasis van FMS Spaarnwoude niet ver van Schiphol, de grootste luchthaven van Nederland, verwijderd is, is het dubbel zo belangrijk dat het maximale zendvermogen niet wordt overschreden, en dat uiteraard niet alleen om gedoe met de autoriteiten te voorkomen. Natuurlijk is het geen enkel probleem

een kant-en-klare RF-vermogensmeter te kopen, maar die dingen kosten toch al gauw een paar honderd euro. Dan zou zelfbouw toch lonend moeten zijn...

### De opzet

Om eventuele misverstanden meteen uit de weg te ruimen: dit is geen simpel nabouwproject! Om de RF-vermogensmeter toch binnen het bereik van de gevorderde soldeerartiest te brengen, is gekozen voor een opzet met twee (nou ja, eigenlijk drie) printjes: een hoofdprint voor de bedieningselementen en



### De hoofdprint

In **figuur 1** hebben we het opmerkelijk eenvoudige schema van de hoofdprint getekend. Het hart wordt gevormd door de Arduino Nano (MOD2). Op pinnen D2...D8 is een standaard LCD-module (2 regels van 16 karakters) aangesloten; met P1 kan het contrast worden ingesteld. We hebben weerstand R5 toegevoegd om een nauwkeuriger regeling mogelijk te maken.

Met druktoetsen S1...S3 (met pull-down-weerstanden R1...R3) wordt de vermogensmeter

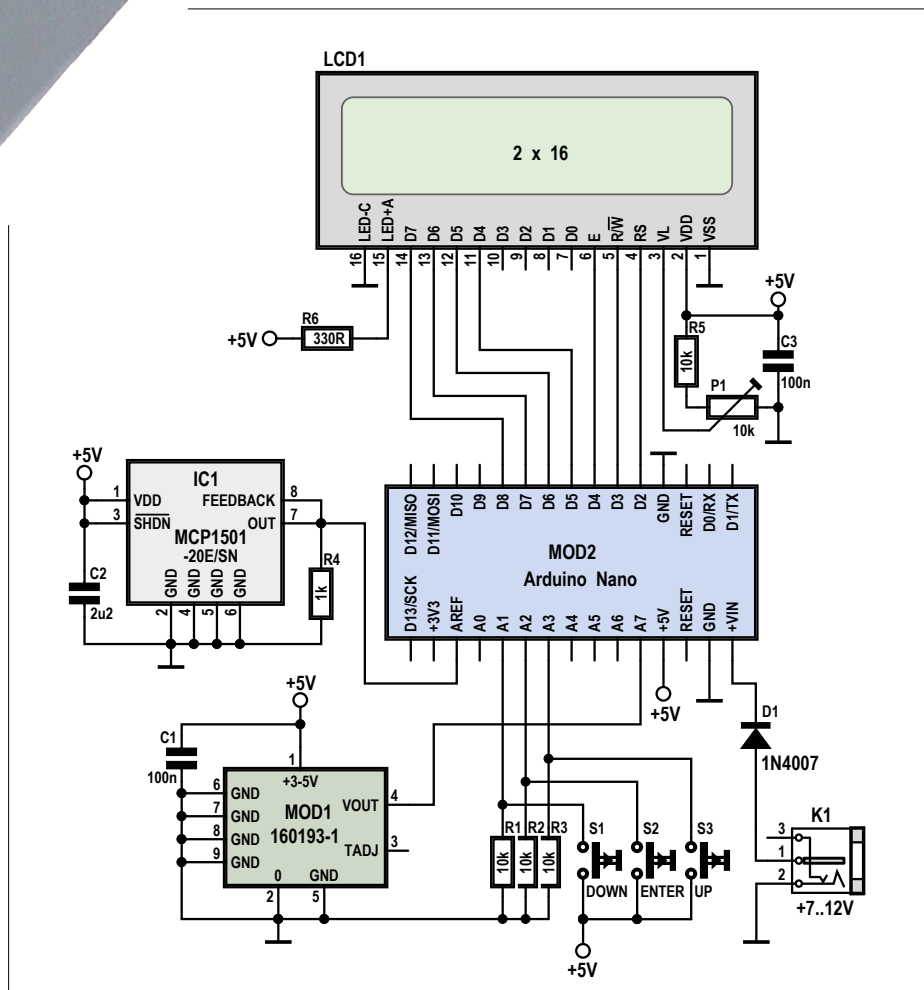
bediend (zie verderop). Voor de voeding wordt een externe DC-voeding van 7...12 V gebruikt (aansluiting K1); op de Arduino Nano-print wordt daarvan een keurige 5 V gemaakt voor de voe-

### PROJECT INFO

	Hoogfrequent
	Arduino Nano
	SMD
	beginners
	gevorderden
	experts
	Ongeveer 4 uur
	SMD-soldeergereedschap Hetelucht-soldeerstation of reflow-oven Programmeeradapter
	ca. € 50

ding van de diverse modules. Diode D1 doet dienst als ompoolbeveiliging. Omdat de interne referentiespanning

een LC-display, plus een RF front-end in de vorm van een break-out board dat op de hoofdprint wordt gemonteerd. En de derde print, vraagt u? Dat is de micro-controller in de vorm van een Arduino Nano, die ook op de hoofdprint wordt gemonteerd. We hebben voor de Nano gekozen omdat die klein en goedkoop is, snel genoeg is en voldoende rekenkracht biedt voor deze toepassing. Deze opzet biedt ook de mogelijkheid om het front-end voor andere toepassingen te gebruiken en/of dichterbij de signaalbron te plaatsen.



Figuur 1. Het schema van de hoofdprint bestaat eigenlijk uit drie modules.

## Metingen

We hebben enkele metingen uitgevoerd aan een prototype van het break-out board (zonder hoofdprint). Daarvoor hebben we de tracking generator van een oude Tektronix 2710 spectrum analyzer gebruikt. Deze heeft een maximum frequentie van 1,8 GHz. De amplitudes lopen van -48 dBm tot 0 dBm. We hebben de uitgangsspanning van de module gemeten bij 100 MHz, 1 GHz en 1,8 GHz.

Voor de eerste reeks metingen (**tabel 1**) hebben we de RF-module als volgt aangesloten: N/BNC-adapter op de analyzer, 50 cm BNC-kabel RG058, BNC/SMA-adapter op de module.

**Tabel 1**

$V_{in}$ [dBm]	100 MHz (21,3 mV/dB)		1 GHz (22,1 mV/dB)		1,8 GHz (22 mV/dB)	
	$V_{out}$ [V]	mV/dB	$V_{out}$ [V]	mV/dB	$V_{out}$ [V]	mV/dB
0	0,423		0,417		0,391	
-10	0,610	18,7	0,624	20,7	0,601	21
-20	0,834	22,4	0,832	20,8	0,786	18,5
-30	1,052	21,8	1,067	23,5	1,044	25,8
-40	1,274	22,2	1,292	22,5	1,244	20,0
-48	1,447	21,6	1,480	23,5	1,445	25,1

De tweede reeks metingen (**tabel 2**) is uitgevoerd zonder kabel: N/BNC-adapter op de analyzer, BNC/BNC/adapter (2 x female), BNC/SMA-adapter op de module.

**Tabel 2**

$V_{in}$ [dBm]	100 MHz (21,3 mV/dB)		1 GHz (22,1 mV/dB)		1,8 GHz (22 mV/dB)	
	$V_{out}$ [V]	mV/dB	$V_{out}$ [V]	mV/dB	$V_{out}$ [V]	mV/dB
0	0,421		0,409		0,380	
-10	0,608	18,7	0,614	20,5	0,583	20,3
-20	0,832	22,4	0,821	20,7	0,770	18,7
-30	1,050	21,8	1,057	23,6	1,027	25,7
-40	1,272	22,2	1,283	22,6	1,233	20,6
-48	1,445	21,6	1,471	23,5	1,434	25,1

We hebben ook nog twee andere kabels uitgetest. De eerste (BNC—35 cm RGU400—SMA) bleek bij 1,8 GHz een extra verzwakking van ongeveer 0,2 dB te veroorzaken; de tweede (BNC—1 m RG223—SMA) was goed voor een extra verzwakking van iets minder dan 0,6 dB.

**Tabel 3** geeft nog enkele andere meetresultaten:

**Tabel 3**

$V_{out}$ max	1,718 V (zonder ingangssignaal)
$V_{out}$ min	0,359 V (gemeten bij +10 dBm en 15 MHz)
max. ingangsvermogen	+12 dBm (volgens datasheet)
$V_{in}$ min (K1)	6,6 V (bij lagere spanningen zakt de spanning van de 5-V-regelaar in)
stroomopname	85 mA

van de Nano voor ons doel niet nauwkeurig genoeg is, hebben we een separate 2,048-V-referentie toegevoegd in de vorm van IC1, een MCP1501-20E/SN [1]. Dit IC van Microchip biedt een prima nauwkeurigheid van 0,1%. Voor een stabiele werking is een resistieve belasting vereist in de vorm van R4. De AREF-ingang van de Nano is met 100 nF ontkoppeld (deze condensator zit al op de Arduino-print).

Als laatste zien we in het schema het RF front-end in de vorm van MOD1. Deze is met niet meer dan drie lijntjes met de hoofdprint verbonden: voeding en massa, en een analoge uitgangsspanning die een maat is voor het RF-vermogen.

### BoBje

Het ontwerp van het RF front-end bleek eenvoudiger dan we aanvankelijk dachten (vreesden). Er zijn namelijk IC's in de

handel, zogenaamde Log Detectors, die het gemeten vermogen vertalen in een analoge uitgangsspanning. Een belangrijk deel van het ontwerpproces was zodoende het vinden van een geschikte detector. Uiteindelijk hebben we gekozen voor de AD8317 van Analog Devices [2]. Deze biedt een meer dan toereikende bandbreedte van 1 MHz...10 GHz bij een dynamisch bereik van 55 dB. Het schema (afgebeeld in **figuur 2**) volgt de aanbe-

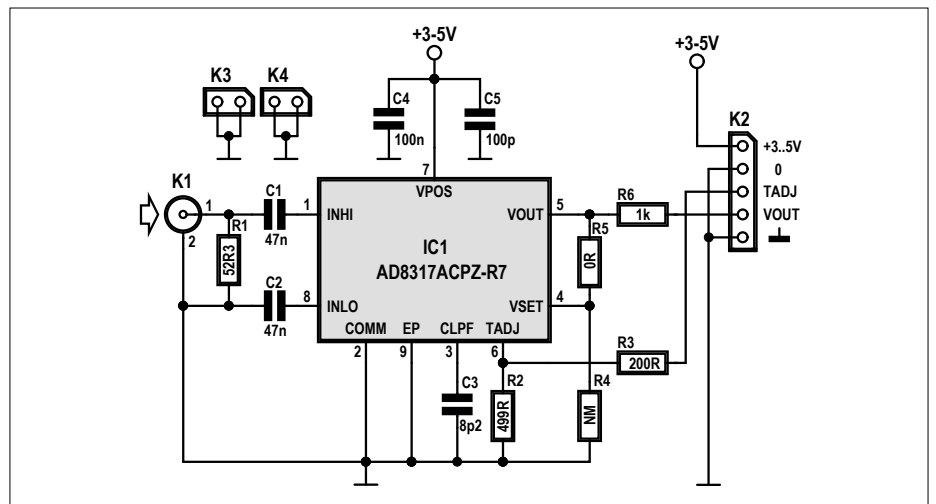
velingen in de datasheet.

Het signaal komt binnen op K1. Het maximaleingangssignaal bedraagt ongeveer 0 dBm, zodat u voor vermogens boven 1 mW een verzwakker dient te gebruiken. Weerstand R1 zorgt samen met deingangsimpedantie van de AD8317 voor een breedbandigeingangsimpedantie van 50 Ω. C1 en C2 houden een eventuele gelijkspanningscomponent tegen, en vormen tegelijk samen met deingangsimpedantie een hoogdoorlaatfilter met een kantelfrequentie van ongeveer 68 kHz. Weerstand R2 dient voor temperatuurcompensatie; de waarde in het schema is aanbevolen voor metingen bij 5,8 GHz. Voor andere waarden verwijzen we naar de datasheet. TADJ is ook op connector K2 naar buiten gevoerd, maar in deze toepassing doen we daar verder niets mee. C3 is voor het laagdoorlaat-demodulatiefilter van het uitgangssignaal Vout. Omdat we in deze toepassing niet in demodulatie geïnteresseerd zijn, is de standaardwaarde van 8,2 pF gemonteerd.

De uitgangsspanning  $V_{out}$  is via spanningsdeler R4/R5 teruggevoerd naar de VSET-ingang. Voor R5 is in het schema een waarde van 0 Ω aangegeven, terwijl R4 niet wordt gemonteerd (NM = Not Mounted). Met deze spanningsdeler kan eventueel de steilheid van de uitgangsspanning groter worden gemaakt dan de minimumwaarde van 22 mV/dB. Ook hier: voor meer details verwijzen we naar de datasheet van het IC.

### Bouw...

**Figuur 3** geeft een impressie van de compleet opgebouwde RF-vermogensmeter. Maar zover zijn we nog niet — er staat ons (nou ja, u dus, om eerlijk te zijn) eerst nog het nodige priegelwerk



Figuur 2. De RF-module bestaat uit een enkel IC en wat klein grut.



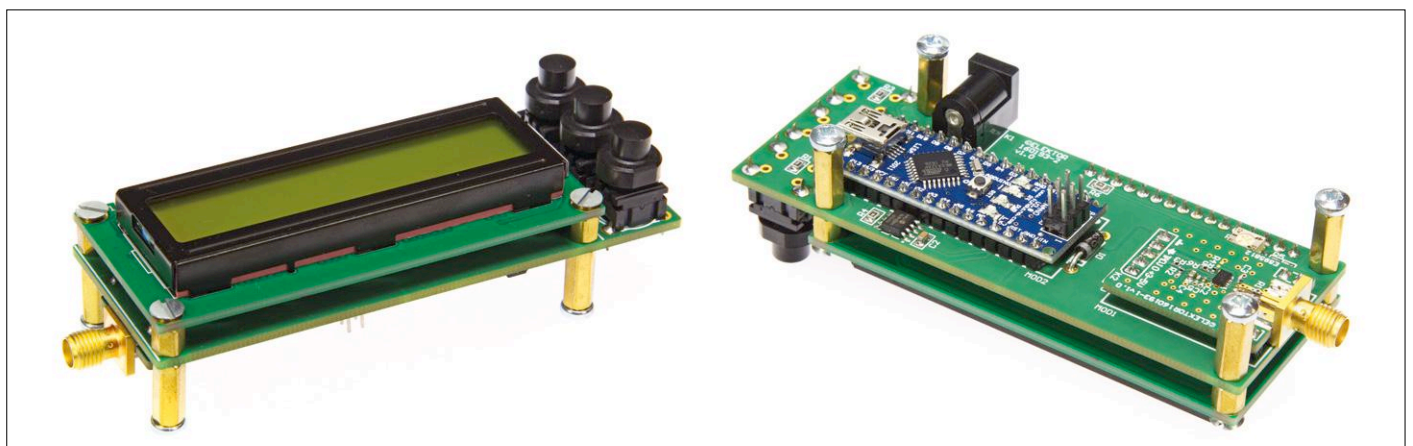
Grote bandbreedte en groot dynamisch bereik



te wachten.

We beginnen met het moeilijkste: het RF front-end. Hiervoor is een klein (20 x 27 mm) printje ontworpen dat in **figuur 4** is afgebeeld. Let op: dit is een vierlaags print — voor een schakeling die

tot 10 GHz gaat een absoluut vereiste. Een van de 'verborgen' lagen wordt uitsluitend voor de positieve voedingsspanning gebruikt. De parasitaire capaciteit tussen deze laag en de massavlakken zorgt voor een extra ont koppeling van de



Figuur 3. De compleet opgebouwde module is lekker compact.



## ONDERDELENLIJST

### 160193-1 (RF-module)

#### Weerstanden (SMD 0402)

R1 = 52,3  $\Omega$ , 1%, 100 mW (ERJ2RKF52R3X, Panasonic)

R2 = 499  $\Omega$ , 1%, 62,5 mW

R3 = 200  $\Omega$ , 1%, 62,5 mW

R4 = niet gemonteerd

R5 = 0  $\Omega$ , 1%, 62,5 mW

R6 = 1 k $\Omega$ , 1%, 62,5 mW

#### Condensatoren

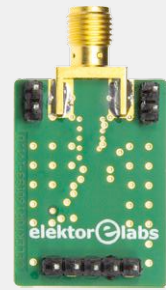
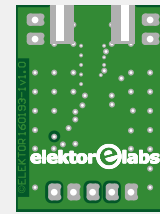
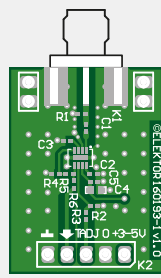
##### (SMD 0402 tenzij anders vermeld)

C1,C2 = 47 nF, 10%, 25 V, X7R

C3 = 8,2 pF,  $\pm 0,5$ pF, 50 V, COG/NPO

C4 = 100 nF, 10%, 16 V, X7R, SMD 0603

C5 = 100 pF, 10%, 16 V, COG/NPO



Figuur 4. De (vierlaags!) print van de RF-module.

#### Halfgeleiders

IC1 = AD8317ACPZ-R7, SMD LFCSP\_VD (CP-8-1)

#### Overig

K1 = SMA, 50  $\Omega$ , recht, randmontage (142-0701-801, Johnson/Cinch)

K2 = 1x5 pinheader, verticaal, raster 2,54 mm, through hole

K3,K4 = 1x2 pinheader, verticaal, raster 2,54 mm, through hole

#### Diversen

Print 160193-1 v1.0

voedingsspanning. Nog een woord van waarschuwing: probeer niet hier zelf iets te 'fabrieken', want dan zal de schakeling gegarandeerd niet (goed) functioneren! Vanwege de hoge frequenties zijn alle weerstanden en condensatoren 0402-types (met uitzondering van C4, dat is een 0603-exemplaar).

Nu blijkt ook het enige nadeel van de hier toegepaste AD8317: de CP-8-1 SMD-behuizing. De 8 pootjes zijn al nauwelijks zichtbaar, en onder de behuizing zit nog een Exposed Pad dat met GND moet worden verbonden. Daar komt u met een gewone soldeerbout (hoe fijn de punt ook moge zijn) nooit bij. De enige manier om dit IC te solderen is met een hetelucht-soldeerstation of met een oven. Gebruik in elk geval niet teveel soldeer pasta!

Na het BoBje is de hoofdprint een fluitje van een cent. Hierop worden slechts 'gewone' SMD-componenten gemonteerd. **Figuur 5** toont de print die we hiervoor hebben ontworpen — vrijwel even groot als de displaymodule. Monteer eerst de gewone componenten; wacht nog even met de beide modules en het display.

### ...en samenbouw

Bij ons eerste prototype hadden we busstrips gemonteerd voor de twee modules en het display. Die manier van samenbouwen verdient echter geen aanbeveling (hoewel de schakeling wel goed werkt) omdat het geheel dan bijna 4,5 cm hoog wordt (gemeten vanaf het display tot en met de ICSP-header van de Nano).

Wanneer de modules en het display echter direct op de hoofdprint worden gesoldeerd, is het geheel slechts 28 mm 'dik'. Ga hiervoor als volgt te werk: Monteer eerst de beide modules (zie nogmaals figuur 3), steek de header voor het display in de juiste gaatjes en schroef vervolgens het display op zijn plaats met behulp van vier afstandsbussen (male/female) van 5 mm. Pas dan soldeert u de pinheader van het display.

### Firmware en gebruik

De software van de RF Power Meter is tamelijk rechttoe-rechtaan. In de hoofd-lus van het programma worden 15.000 samples genomen, waarna het gemiddelde vermogen, piekvermogen, het minimumvermogen gedurende de laatste 10 s en het maximumvermogen even-

eens gedurende de laatste 10 s worden bepaald, en tenslotte de modulatie-index wordt berekend. Dan worden de resultaten naar het display gestuurd en begint een volgende meetcyclus.

Voordat de juiste waarden kunnen worden afgelezen, moeten eerst de verzwakking en frequentie worden geselecteerd. Hiervoor is een eenvoudige menustructuur geïmplementeerd, die gebruik maakt van de up- en down-druktoetsen (en de enter-toets om uw keuze te bevestigen). Mogelijke frequenties zijn 900 MHz, 1,8 GHz, 2,2 GHz, 3,6 GHz, 5,8 GHz en 8 GHz. De omzetting van de ingangsspanning van de A/D-omzetter en de berekening van het werkelijke vermogen in dBm is een lineaire functie met een helling van -22 mV/dB, maar het beginpunt van die functie is voor elke frequentie verschillend (zie de datasheet). De software geeft een waarschuwing wanneer het ingangsvermogen te groot of te klein is. Een te gering vermogen resulteert volgens de datasheet in een grote meetfout.

### Verzwakkers

De auteur gebruikt twee verzwakkers van minicircuits: de VAT-20W2+ (20 dBm) [3] en de VAT-30W2+ (30 dBm) [4]. Deze worden compleet met datasheet geleverd. De karakteristieken van deze beide verzwakkers zijn in de firmware verwerkt. Voor de goede orde: in de firmware is ook een kalibratiefunctie ingebouwd zodat het mogelijk is andere verzwakkers te gebruiken dan de twee genoemde en voorgeprogrammeerde modellen.



## IN DE STORE

→ 160193-1  
print RF-module

→ 160193-2  
hoofdprint

→ 160193-91  
compleet gemonteerde RF-module

→ 17002  
Arduino Nano

→ 18241  
Nano Board Franzis

→ 120061-77  
LCD 2x16 wit op blauw

→ 120061-74  
LCD 2x16 standaard

## Tenslotte

We hebben hierboven het gebruik slechts kort aangestipt. In de gratis download bij dit artikel [5] zit echter een zeer uitgebreide (7 pagina's A4 in PDF-formaat) en rijk geïllustreerde gebruikshandleiding (Engelstalig). Uiteraard maakt ook de firmware deel uit van de download. ◀

(160193)

## Links

- [1] [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005474D.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005474D.pdf)
- [2] [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8317.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8317.pdf)
- [3] [www.minicircuits.com/pdfs/VAT-20W2+.pdf](http://www.minicircuits.com/pdfs/VAT-20W2+.pdf)
- [4] [www.minicircuits.com/pdfs/VAT-30W2+.pdf](http://www.minicircuits.com/pdfs/VAT-30W2+.pdf)
- [5] [www.elektormagazine.nl/160193](http://www.elektormagazine.nl/160193)



## ONDERDELENLIJST

### 160193-2 (Hoofdprint)

#### Weerstanden (SMD 0805)

R1,R2,R3,R5 = 10 k $\Omega$ , 0,1W, 5%

R4 = 1 k $\Omega$ , 0,1 W, 5%

R6 = 330  $\Omega$ , 0,1 W, 5 %

P1 = 10 k $\Omega$ , 0,25 W, 20 %, SMD (3314G-2-103E, Bourns)

#### Condensatoren (SMD 0805)

C1,C3 = 100 nF, 50 V, 10 %, X7R

C2 = 2,2  $\mu$ F, 25 V, 10 %, X7R

#### Halfgeleiders

D1 = 1N4007, 1000 V, 1 A, THM

IC1 = MCP1501-20E-/SN, SMD SOIC-8

#### Overig

K1 = DC voedingsconnector, 3 A, 1,95 mm, NEB 21 R Lumberg

S1,S2,S3 = druktoets PCB SPST-NO, RA3FTH9 Multimec

S1,S2,S3 = ronde kap voor druktoets, zwart, hoogte 16 mm, 1S09-16.0 Multimec

LCD1 = LCD-module 2x16, 80 x 36 mm, 3 mm montagegaten

LCD1 = 1x16 header, verticaal, raster 2,54 mm, through hole

MOD1 = 160193-1, RF-module

MOD2 = Arduino Nano

#### Optioneel (niet aanbevolen)

Voor LCD:

- 1x16 busstrip, verticaal, raster 2,54 mm
- vier stuks 12 mm M3-afstandsbussen, female-female
- vier stuks 3 mm boutjes (lengte > 6 mm)

Voor MOD1: twee stuks 1x2 plus een 1x5

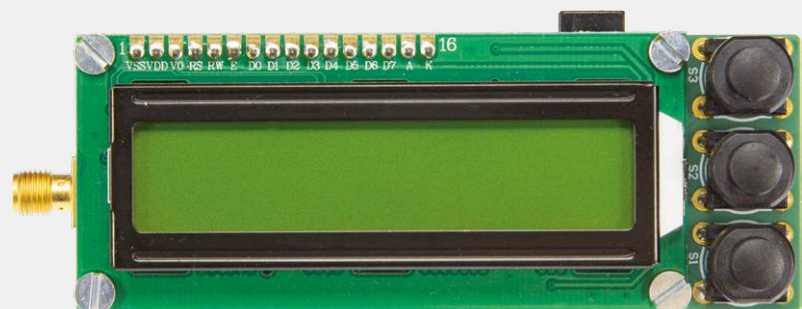
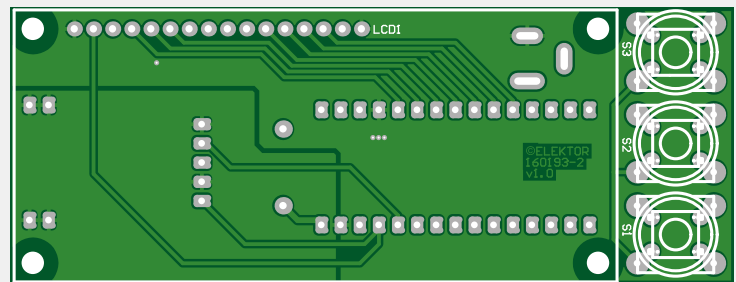
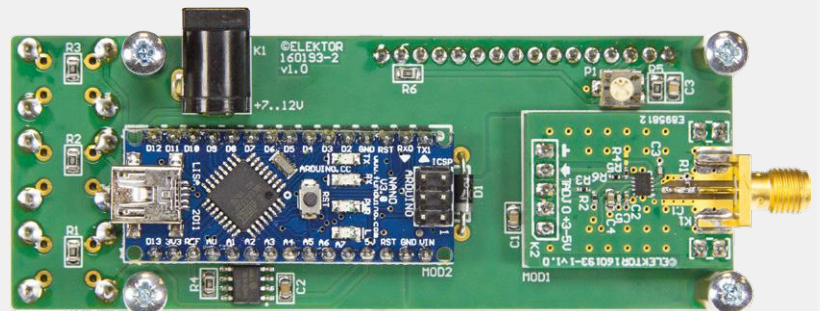
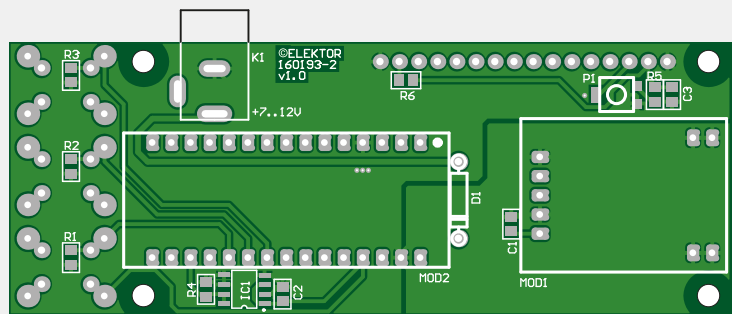
busstrip, verticaal, raster 2,54 mm

Voor MOD2: twee stuks 1x15 busstrips, verticaal, raster 2,54 mm

Afhankelijk van de montage van de RF-vermogensmeter in een kastje zijn extra M3-afstandsbussen (male-female), M3-boutjes en moeren nodig

#### Diversen

Print 160193-2 v1.0



Figuur 5. De hoofdprint van de vermogensmeter.



# (Bijna) alles wat u altijd al wilde weten over... Nixie-buizen

Ilse Joostens (België)

Nixie-buizen met hun zachtgluoiende, van voor naar achter verspringende cijfers, zijn tegenwoordig weer helemaal 'in', zeker wanneer een retro- of steampunk-look gewenst is.



**V** Waar komt die naam 'Nixie' eigenlijk vandaan?

**A** Het antwoord vinden we in het verleden [1]. Door de industrialisatie en de opkomst van de elektronica in de eerste helft van de 20ste eeuw en vooral kort na de tweede wereldoorlog, kwam er steeds meer behoefte aan elektronische displays. Het eerste patent voor een op een Nixie-buis lijkend display werd op 9 mei 1934 aangevraagd door Hans G. Boswau uit Galion (Ohio). Het zou echter nog tot ongeveer 1954 duren voor de GI-10 door National Union onder de naam Inditron op de markt werd gebracht [2]. Omstreeks dezelfde tijd waren de uit Hongarije afkomstige broers George en Zoltan Haydu eveneens druk bezig met de ontwikkeling van diverse soorten buizen. Toen hun bedrijf in 1954 door Burroughs werd overgenomen, zette een tekenaar zonder verdere bijbedoeling de naam 'NIX-I' op de tekeningen van de displaybuis. De afkorting stond voor 'Numerical Indicator eXperimental no. 1' en dat werd al snel verbasterd tot 'Nixie'. De productie begon in 1956; en zoals de dichter zegt: de rest is geschiedenis...

**V** Worden Nixie-buizen tegenwoordig nog geproduceerd?

**A** Momenteel worden Nixie-buizen niet langer commercieel (dat wil zeggen op grote schaal) vervaardigd. Voor zover we weten werden ze nog tot begin 1992 in de voormalige Sovjet-Unie (Rusland, later Oekraïne) geproduceerd. Tegenwoordig vindt echter weer productie op kleine schaal plaats door de Tsjech Dalibor Farny [3]. Ook anderen zijn hiermee aan het experimenteren. U moet echter wel op zéér stevige prijzen rekenen wanneer u die buizen overweegt.

**V** Waar zijn Nixie-buizen nu nog verkrijgbaar?

**A** Het grootste aanbod van vooral Russische Nixie-buizen kan worden gevonden op eBay, bij verkopers uit het voormalige Oostblok. Ook Europese en Amerikaanse webwinkels en eBay-verkopers bieden (Russische) Nixie-buizen aan — maar die zijn dan vaak aanzienlijk duurder. De voorraden raken echter meer en meer uitgeput, dus het aanbod neemt af



en de prijzen stijgen stilletjes. Veel niet-Russische Nixie-buizen worden steeds zeldzamer, en ontwikkelen zich tot ware verzamelobjecten.

### V Hoe worden Nixie-buizen aangestuurd?

A Voor de voeding van Nixie-buizen wordt meestal een gelijkspanning van zo'n 170 V gebruikt, waarbij de stroom door de buis wordt begrensd door een anodeweerstand. Voor de aansturing van de kathodes (**figuur 1**) wordt nog vaak de bekende (en nog steeds door Integral geproduceerde) Russische K155ID1 Nixie-driver gebruikt. Dat IC is een afgeleide van de aloude 74141 BCD/decimaal-decoder/nixie-driver. Natuurlijk kunnen ook discrete transistoren worden gebruikt zoals de bekende MPSA42, of een hoogspannings-schuifregister/driver zoals de HV5812 van Microchip. Wanneer Nixie-buizen worden gemultiplext (zie de volgende vraag), worden als anodedrivers vaak discrete transistorpaartjes bestaande uit een MPSA42 en een MPSA92 gebruikt. Een andere mogelijkheid is een optocoupler die voor hoge spanningen geschikt is, zoals de SFH619A.

Het lijkt onmogelijk maar is toch waar: bij statische (niet-gemultiplexte) aansturing van kleinere Nixie-buizen kunnen ook standaard-transistoren zoals de BC547 en BC550 worden gebruikt als kathodedriver. Zolang de som van de ontsteekspanning van de Nixie-buis en de doorslagspanning van de transistor lager is dan de anodespanning, gedraagt de transistor zich als een prima Nixie-driver. En als er toch doorslag optreedt, heeft dat meestal geen tragische gevolgen omdat de stroom slechts een paar mA bedraagt en het door de transistor gedissipeerde vermogen dus binnen de perken blijft [4].

En het kan nog tegendraadser... Vooropgesteld dat de anodespanning zorgvuldig is afgeregeld, kunnen de kathodes van Nixie-buizen rechtstreeks worden aangestuurd vanuit standaard CMOS-logica (HEF4xxx en CD4xxx) wanneer die uit 15 V wordt gevoed. Dit is mogelijk dankzij het geringe verschil tussen de ontsteekspanning en de brandspanning bij veel (niet alle) typen Nixie-buizen [5]. Leuk weetje, maar niet echt een aanrader...

### V Kunnen Nixie-buizen worden gemultiplext?

A Het multiplexen van Nixie-buizen is, net als het regelen van de lichtsterkte met pulsbreedtemodulatie, probleemloos mogelijk. Dat is te danken aan het werkingsprincipe, dat op gasontlading is gebaseerd, en aan de korte ontsteektijd. Het kan gebeuren dat hierbij mechanische resonantie van de kathodes of het anoderooster optreedt: de buis gaat 'zingen'. Dit doet zich vooral voor bij grotere Nixie-buizen. Het probleem kan worden opgelost door de multiplexfrequentie en de timing aan te passen.

### V Wat is het verschil tussen een Nixie-buis en een VFD of Numitron?

A Een Nixie-buis is een gasontladingsbuis met een koude kathode. Een VFD-buis (de afkorting staat voor *Vacuum Fluorescent Display*) heeft daarentegen een verhitte kathode. Daar worden (thermische) elektronen vrijgemaakt die door een potentiaalverschil in de richting van een met een fosfor bedekte anode worden versneld. Daar doen ze de fosfor oplichten.



Figuur 1. Hier zijn de 'gestapelde' kathodes van een Nixie-buis duidelijk te zien.

VFD-buizen werken met lagere spanningen (20...60 V voor de anodes/stuurroosters en ongeveer 1...3 V gloeispanning voor de kathodes). Bij VFD's worden de anodes en roosters door de elektronica gestuurd, dit in tegenstelling tot Nixie-buizen. Numitrons bestaan uit verschillende gloeidraden die in een glazen buisje zijn gemonteerd in de vorm van een 7-segment-display. De spanning is hier nog lager, in de orde van grootte van 5 V voor kleine buisjes. De aansturing is vergelijkbaar met het aansturen van gloeilampjes. Kleinere Numitrons kunnen direct door logische IC's of microcontrollers worden aangestuurd. In **figuur 2** zijn de verschillende buizen naast elkaar geportretteerd.



Figuur 2. Van links naar rechts: een Nixie-buis, een VFD en een Numitron.

**V** *Hoe kan worden getest of een Nixie-buis nog in orde is?*

**A** Voor een snelle test kan men de buis in de buurt van een 'plasmabol' houden. Als het neongas in de buis oplicht, is er in elk geval geen lucht in de buis gekomen. Voor een betere test is een Nixie-voeding nodig met een uitgangsspanning van 160...190 V. Die zijn (al dan niet als bouwset) voor weinig geld verkrijgbaar; u kunt ook zelf iets op gaatjesprint in elkaar knutselen [6].

Sluit de plus van de voeding aan op de anode (via een weerstand van 33...47 k $\Omega$ , dat mag bij grotere buizen een iets kleinere weerstand zijn). Raak nu met de massa van de voeding voorzichtig een voor een de kathode-aansluitingen aan; de verschillende cijfers moeten nu oplichten. Als dat niet goed lukt, kunt u proberen de anodeweerstand nog wat te verkleinen. Als dat niet helpt, is de buis waarschijnlijk niet (helemaal) in orde.

**V** *Zijn Nixie-buizen zonder typenummer of opdruk nog bruikbaar?*

**A** U kunt de buis testen zoals hierboven aangegeven. Als eerste moet u de anode-aansluiting opsporen. Dat lukt meestal wel op het oog: het is de aansluiting die met het metalen rooster in de buis is verbonden. Dan kunt u de overige aansluitingen testen. Nixie-buizen zijn tamelijk robuust zodat er eigenlijk niet veel kapot kan gaan. Wanneer u vreemde effecten ziet, hebt u waarschijnlijk de plus niet met de anode maar met een van de kathodes verbonden.

**V** *Hoe lang gaan Nixie-buizen mee?*

**A** Nixie-buizen kunnen erg lang meegaan — veertig jaar continubedrijf is geen uitzondering. Aan de andere kant kunnen ze plotseling de geest geven. De meest voorkomende oorzaken zijn breuk van de glazen behuizing, lekkage waarbij lucht in de buis komt, kathodevergiftiging, interne kortsluiting of onderbreking ten gevolge van mechanische invloeden [7].

**V** *Bestaan er alleen numerieke Nixie-buizen?*

**A** Naast de bekende buizen met alleen cijfers bestaan er ook Nixie-buizen met letters en/of symbolen; en er bestaan ook 7-, 13- en 15-segment Nixie-buizen. Die waren niet alleen als 'klassieke' ronde buizen verkrijgbaar maar ook als platte Panaplex-displays.

De Russische IN-28 toont slechts één fel oranje lichtpunt; deze buis werd als 'pixel' in dotmatrix-displays gebruikt.

En dan zijn er nog bargraph-Nixies zoals de IN-9 (**figuur 3**). Deze hebben een langwerpige cilindrische vernikkeld anoderoster en een molybdeen-kathodendraad. Deze draad laat een lichtkolom verschijnen waarvan de hoogte afhankelijk is van de stroomsterkte. In combinatie met neon zorgt molybdeen voor een lage ontsteekspanning. Aan de 'onderzijde' is de kathodendraad gecoat met zirkonium, dat een nog lagere ontsteekspanning heeft. Op die manier wordt ervoor gezorgd dat de lichtkolom daar start. Een verbeterde versie (de IN-13) bezit een hulpelektrode om de lichtkolom onderaan te laten starten. ◀

(160618)



Figuur 3. Bargraph-Nixies.

## Links

- [1] <http://www.decodesystems.com/nixie-history.html>
- [2] <http://www.decadecounter.com/vta/articleview.php?item=423>
- [3] <http://www.daliborfarny.com/>
- [4] <http://www.dos4ever.com/TiT/TiT.html>
- [5] <http://www.dos4ever.com/ring/ring.html#HEF>
- [6] <https://threeneurons.wordpress.com/nixie-power-supply/>
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Nixie\\_tube](https://en.wikipedia.org/wiki/Nixie_tube)



## IN DE STORE

→ 150189-71

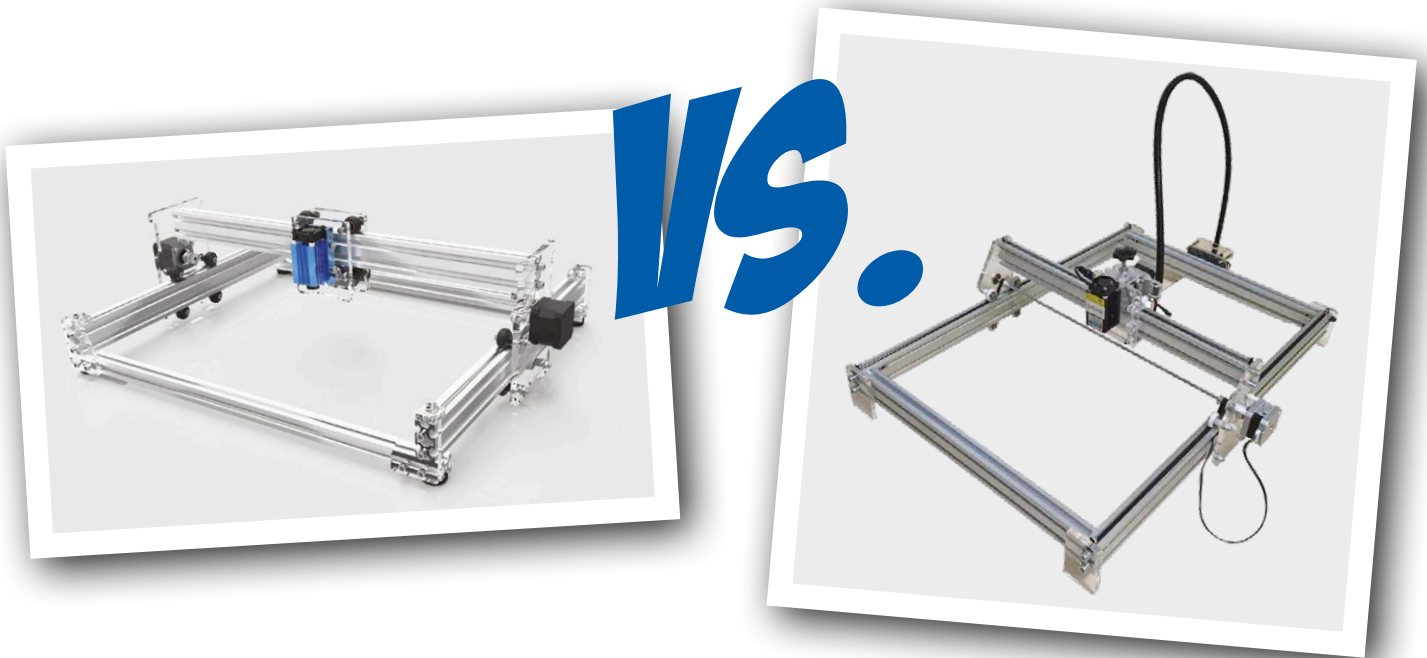
Nauwkeurige Nixie-klok (complete kit)

→ 150189-72

Acryl-behuizing voor de nauwkeurige Nixie-klok

# Graveermachines getest

## deugen die goedkope lasergraveermachines uit China?



Peter Kregel, DG4EK (Duitsland)

Een in Europa geproduceerde lasergraveermachine is voor een privé-gebruiker vrijwel onbereikbaar. Op internet worden weliswaar goedkope bouwkits uit China aangeboden, maar men zegt dat de kwaliteit daarvan te wensen overlaat. Is het echter alleen maar rommel wat daarvandaan komt, of kunnen we toch een bruikbaar apparaat voor ons geld krijgen?

Onze lezer Peter Kregel heeft op internet een relatief goedkope bouwkit voor een CNC-graveermachine uit China gevonden voor een prijs van zo'n € 380 (met een laser van 5,5 W) [1]. Deze bouwkit heeft ongeveer dezelfde basisconstructie als een eveneens uit China afkomstig product met de naam EleksLaser, die ca. € 80 duurder is [2]. Peter Kregel heeft beide machines getest. Hij beschrijft hier zijn positieve en negatieve indrukken over de software en de hardware bij het bouwen, gebruiken en experimenteren.

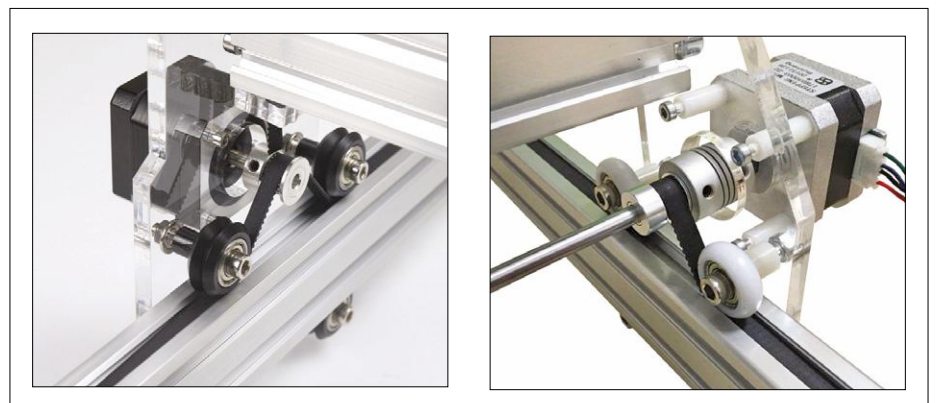
### Mechanische kwaliteiten

Beide apparaten zijn, zoals in de titelfoto is te zien, opgebouwd als een H-brug, zoals we die kennen van portaalfrezen. Zo'n constructie is dankzij de stevige alu-

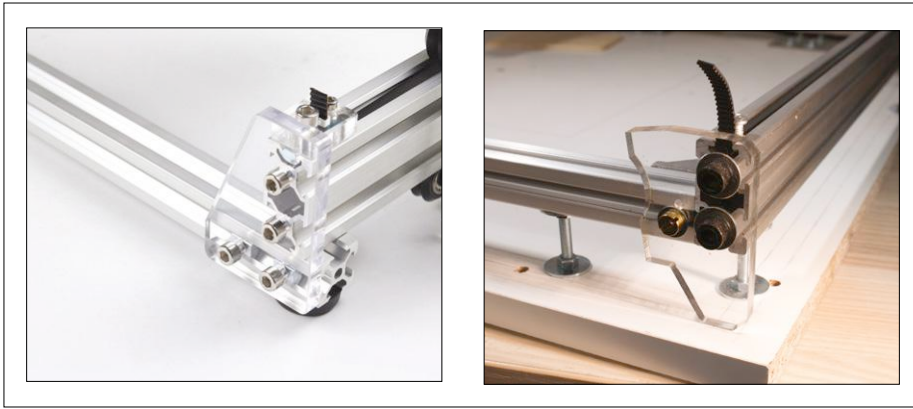
miniumprofielen uiterst stabiel en buigstijf. De EleksLaser lijkt in vergelijking met de andere machine duidelijk mooier gemaakt, bijvoorbeeld met geëloxeerde

schroeven en ringen.

Zo is het koellichaam van de kop van de EleksLaser mooi blauw geëloxeerd, maar eigenlijk is zo'n glimmende eloxe-



Figuur 1. Twee geleiderollen boven en onder de rail en de stappenmotor.



Figuur 2. Hoek van het raamwerk bij de EleksLaser en bij de kloon (met een al op eigen initiatief gemonteerde derde schroef).



Figuur 3. De groene bril die bij beide modellen wordt geleverd biedt geen bescherming! Een goede bril moet OD4+ en CE-markeringen hebben.

ring eerder een nadeel, want die kan leiden tot felle lichtreflecties en dat is bij het werken met een laser niet zo prettig. Een zwarte eloxering zoals in de goedkopere versie is hier de beste oplossing. De innovatieve toepassing van drie tandriemen zorgt bij een correcte riemspanning voor een bijna spelingsvrije werking van beide assen, zodat de aangegeven minimale nauwkeurigheid van 0,1 mm in de praktijk zonder problemen wordt bereikt (**figuur 1**).

Het gemak van de afregeling van die riemspanning met behulp van drie langwerpige gaten en tegenover elkaar liggende rollen met kogellagers is verbluffend. Trek gewoon de constructie met twee rollen vast, zet de looper op het profiel en trek de moeren van de drie rollen licht aan. Verplaats dan de looper met de hand een paar keer heen-en-weer en zet tenslotte de drie moeren van de rollen vast, terwijl u ze op het profiel drukt. En klaar is de afregeling! De hele

afstelprocedure duurde per as nog geen minuut. Als u een aantal objecten hebt gegraveerd, moet u nog eens controleren of er misschien nog wat nagespannen moet worden.

Natuurlijk zijn er ook enkele kritiekpuntjes. Zo wordt er bij de goedkopere bouwkit geen enkele onderlegging meegeleverd en zowel de schroeven als de moeren zijn pijnlijk nauwkeurig afgeteld. Dat is natuurlijk een verkeerde zuinigheid van de fabrikant. Voorgesorteerde schroeven, zoals bij de EleksLaser, zouden helpen om de bouwtijd (de auteur heeft er een hele zondag aan gewerkt) te bekorten. Nog een punt van kritiek: op elke hoek van het raamwerk (**figuur 2**) ontbreken de stabiliserende derde schroef en het boorgat in de kunststofplaat waar het apparaat op moet staan. Zulke schroeven zorgen ervoor dat de profielen ook aan de buitenkant stijf met elkaar zijn verbonden. Ondergelijmde middelharde rubbe-

ren pootjes (ook die ontbreken) zouden het raamwerk ook op een gladde ondergrond op zijn plaats houden tijdens het werk. Bij de EleksLaser worden de acrylglasprofielen niet misbruikt als voeten: die heeft wel rubberen pootjes, die onder het raamwerk worden geschroefd. In de bouwkit van EleksMaker zitten ook de buitenste schroeven. Bij de goedkopere versie moeten we zelf vier gaten van 5 mm boren.

Natuurlijk zijn het weer de kleine dingen die het doen: de M5-moeren die in de profielen worden geschoven, mogen niet dikker zijn dan 3,2 mm, anders passen ze niet. De meegeleverde moeren hebben inderdaad die maat, maar voor de noodzakelijke extra schroeven zult u 4,0 mm dikke 'normale' moeren (volgens DIN934) moeten afvlijen of u moet op zoek naar speciale moeren met een laag profiel volgens ISO4035/4036.

Om te kunnen werken met de juiste versnellings- en vertragingparameters, wat belangrijk is voor zuiver graven, is niet alleen de genoemde buitenstabilisatie nodig, maar moeten de machines ook nog eens worden vastgeschroefd op een houten plaat of rechtstreeks op een tafelblad, anders huppelt het apparaat tijdens het werken voortdurend heen-en-weer. Nog een ernstige tekortkoming van de goedkope versie is het ontbreken van een bescherming voor de kabels naar de laserkop en naar de X-stappenmotor. Een stuk flexibele installatiebuis is goed bruikbaar als noodoplossing. Als een 5,5-W-laserkop moet worden geplaatst, kan blijken dat de sleuf in de bevestigingsplaat bij de goedkopere uitvoering niet lang genoeg is. Dan zult u een vijl moeten gebruiken om de gleuf langer te maken, voordat u de laserkop kunt bevestigen.

### De veiligheidsbril

Beide bouwpakketten worden geleverd met dezelfde veiligheidsbril (**figuur 3**), die die naam absoluut niet waard is. Met een gemeten OD2 (optische dichtheid) bieden ze beslist onvoldoende bescherming voor het werken met klasse-IV-lasers. Eigenlijk zijn ze hooguit bruikbaar voor het positioneren van de laser bij minimaal vermogen. Voor bril dragers is hij in ieder geval onbruikbaar. Bij een kitprijs van ongeveer 400 € mogen we toch echt een betere kwaliteit verwachten, dat wil zeggen: een bril met een certificaat en een OD van 4...5 bij 450 nm. U hebt tenslotte maar één paar

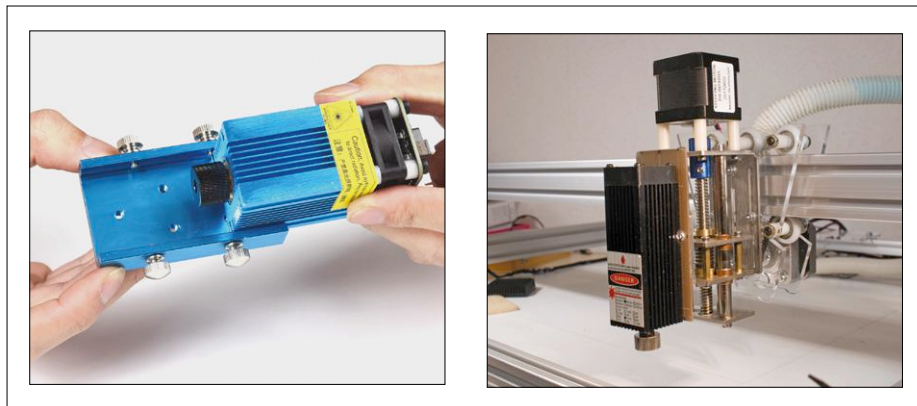
ogen! Wie zijn ogen wil beschermen, moet de extra uitgave voor een 'echte' veiligheidsbril met certificaat er zeker voor over hebben [3].

### De laser

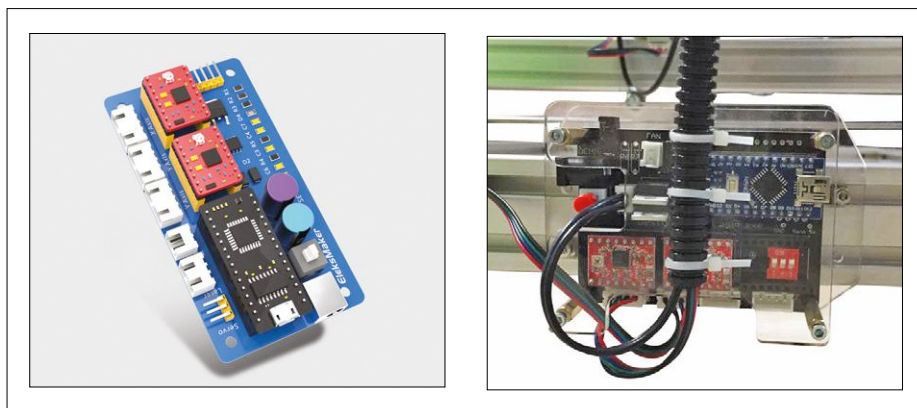
Eindverantwoordelijk voor een goede gravure is natuurlijk de laser (**figuur 4**). Een correcte focussing is uiterst belangrijk voor een goed resultaat. Hier is bij beide fabrikanten ruimte voor verbetering, want met de grove schroefdraad van de focuseringseenheid is alleen met wat oefening een bruikbare focussing te vinden.

Bij de goedkope versie wordt de laserdiode gevoed met een geraffineerde stroombronschakeling. De elektronica zorgt er ook nog eens voor dat schadelijke spanningspieken, die bij het in- en uitschakelen optreden, maar ook afkomstig kunnen zijn van het lichtnet, effectief worden onderdrukt. De laserkop van de EleksLaser wordt gevoed met een echte PWM-besturing (dikwijls ook TTL-besturing genoemd), wat het af te voeren verliesvermogen (warmte) bij het werken met geringe intensiteit vermindert. Maar een grotere effectiviteit van de laser levert die PWM niet op. Integendeel: door de onzuiver filterende buck-regelaar krijgen we zelfs een paar procent minder vermogen dan bij zuivere DC-aansturing. Bij vol laservermogen valt ook het voordeel van minder warmteproductie weg, want een PWM-verhouding van 100 % komt overeen met een ononderbroken gelijkspanning, zoals door de diodedriver van de goedkopere versie wordt geleverd. De bij de EleksLaser gebruikte PWM-aansturing brengt dus in de praktijk eerder nadelen dan voordelen en is technisch helemaal niet nodig bij CW-laserdiodes. Maar wie het per se wil, kan ook de laserkop van de goedkopere aanbieder ombouwen voor gebruik met PWM.

De energie van een 5,5-W-laserkop is niet voldoende voor een echte metaalgravure. Maar het is al met minder dan 2 W mogelijk om keurige markeringen op donker geëloxeerd aluminium aan te brengen en ook om printen met de bekende fotolaktechniek zeer nauwkeurig te belichten. Toepassing van de door de fabrikanten aangeboden sterkere laserkoppen van (naar wordt beweerd) 15 W kan de auteur alleen maar afraden. Ook dit vermogen is niet voldoende voor een echte metaalgravures. Bovendien wordt



Figuur 4. De blauw geëloxeerde EleksLaser en de zwarte laser van het goedkopere model.



Figuur 5. De nagenoeg identieke elektronica met Arduino Nano.

de daarin gebruikte laserdiode van 7 W dermate overstuurd en mishandeld, dat u kunt rekenen op een sterk verkorte levensduur.

### De stappenmotorsturing

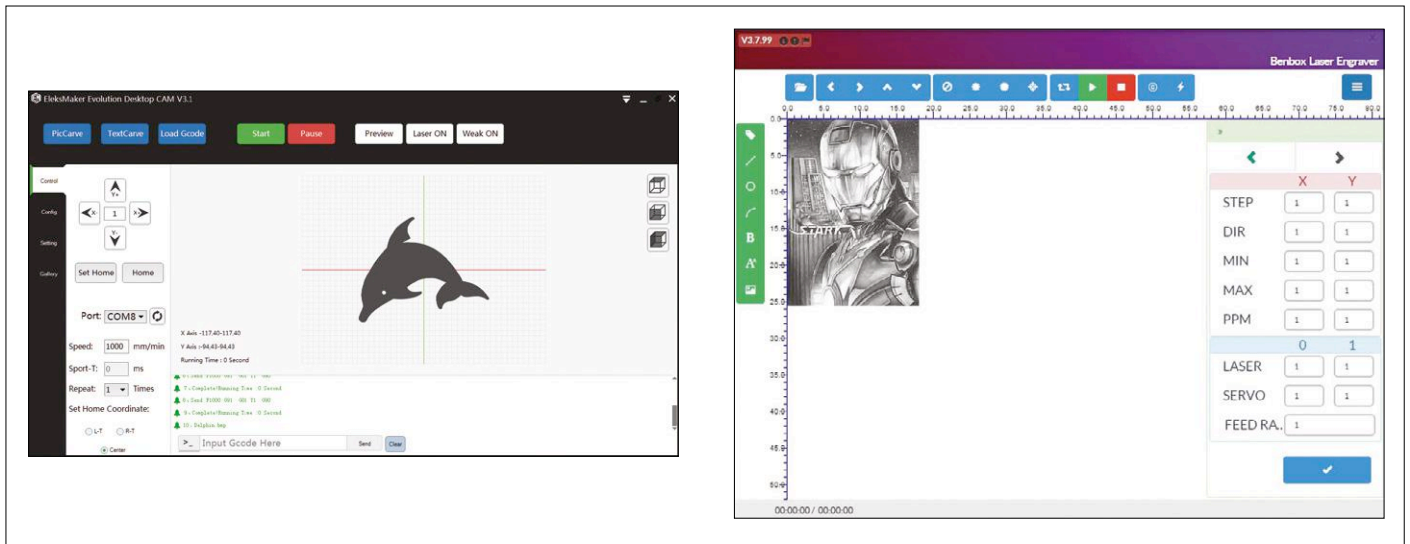
In beide modellen stuurt een Arduino Nano twee A4988-motorcontrollers aan. De beide Y-motoren zijn daarbij, om kosten te besparen, antiparallel geschakeld. De controllerchip voor de Y-motoren wordt daardoor natuurlijk overbelast, zodat hij gloeiendheet wordt. Ook het meegeleverde minikoellichaam verandert daar niets aan, want het te koelen metaaloppervlak van het IC bevindt zich aan de onderkant. Hier moet u echt ingrijpen en de beide Y-motoren ieder een eigen controller geven voor ongeveer € 1,50 per stuk.

Het instellen van de motorstromen met een instelpotmeter lijkt simpel, maar hier liggen problemen op de loer. De meeste

aanwijzingen die hierover te vinden zijn op internet, maken gebruik van de verkeerde formules. Voor de eerste experimenten volstaat het om alle instelpotmeters in de middenstand te zetten. Maar voor een correcte instelling moeten de spanning en stroom echt berekend worden met de eenvoudige formule uit de datasheet van de controller.

### GRBL-firmware voor Arduino en PC-software

Hoewel beide apparaten werken met een Arduino Nano-kloon (**figuur 5**) en de gratis beschikbare G-code-interpretter GRBL als firmware, wordt verschillende software voor de PC meegeleverd (**figuur 6**). Omdat het concept geen machinenuitpunt kent, zijn er geen eindschakelaars. Die zijn ook niet nodig, want het gaat hier niet om een verspanningsmachine, maar om een soort lichtplotter, waarvan we zelf het X/Y-nulpunt bepalen door de laser voor het graveren met vier



Figuur 6. De modern ogende Eleks-software biedt nauwelijks voordelen in vergelijking met de eenvoudige BenBox-software.

toetsen in de PC-software te verplaatsen.

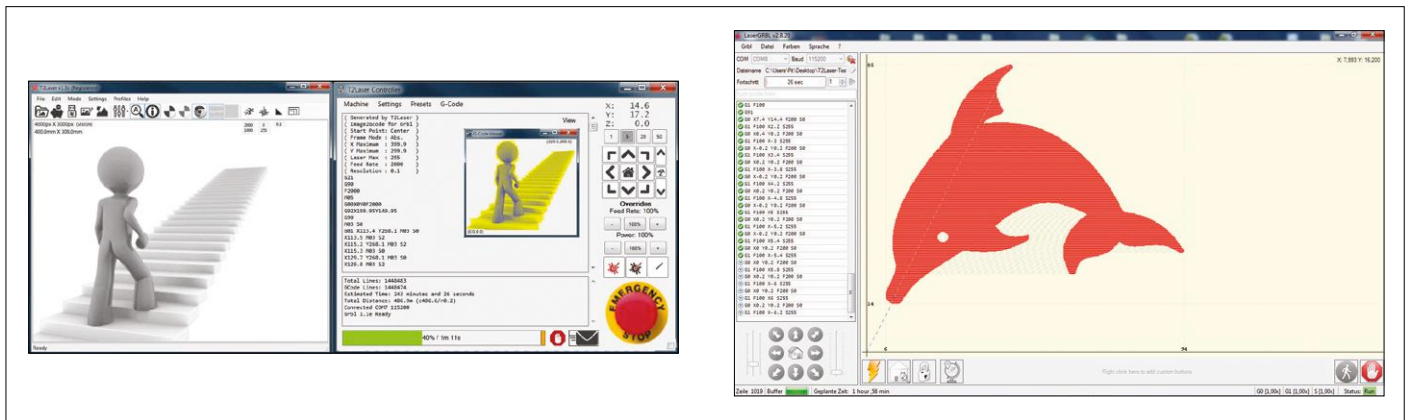
De goedkopere versie wordt geleverd met de PC-software BenBox, bij de EleksLaser krijgen we de software EleksCam. Beide programma's komen eigenlijk alleen tegemoet aan de basisbehoeften van de gebruiker. EleksCam kan het volledige scherm gebruiken, terwijl BenBox altijd werkt in een onveranderlijk venster. Een waarschuwing voor degenen die de goedkopere versie van het product aanschaffen: ga niet proberen andere software in de Arduino Nano te flashen. De fabrikant heeft BenBox namelijk zó geconfigureerd, dat het programma de aanwezigheid van de meegeleverde Nano-kloon controleert, voordat het de gebruiker toestaat om met een instelbaar laservermogen te werken. Als de inhoud van deze besturingscontroller is veranderd, is regelen van het vermogen met BenBox niet meer

mogelijk en dat is ook niet te herstellen. Wie dus wil experimenteren met andere software, moet een tweede, lege Arduino Nano aanschaffen en de experimenten daarmee uitvoeren.

Naast de meegeleverde rudimentaire PC-software bestaat de mogelijkheid om de beide graveermachines aan te sturen met een commercieel besturingsprogramma zoals T2Laser (figuur 7). Maar het kan ook gratis met de heel goede (open source) software LaserGRBL [4]. Dit programma heeft onder meer een simulator, een functie voor het vectoriseren van diverse pixelformaten, de mogelijkheid om tekeningen en foto's in grijstinten te graveren en (uniek!) randen van bijvoorbeeld uit de vrije hand gemaakte tekeningen automatisch te effenen. Hierover zijn video's beschikbaar op YouTube [5].

In de toekomst wordt er ook een extra, door de auteur van dit artikel geschreven, module in LaserGRBL opgenomen die kan zorgen voor automatisch focuseren van de laser met behulp van een webcam en een besturing van de Z-as. Daardoor moet het ook mogelijk worden om dikkere materialen zuiver te snijden, zonder met de hand de focusering te hoeven corrigeren.

Tenslotte nog een tip hoe u LaserGRBL ook kunt uitproberen zonder graveerhardware: sluit daarvoor uw reserve-Arduino via USB aan op de PC aan en installeer (als dat nog niet is gebeurd) de daarvoor benodigde driver. Download de nieuwste GRBL-firmware als .HEX-file en flash die met programmeersoftware zoals Xloader [6] in de Arduino Nano. Als het flashen is gelukt kunt u na het instellen van de juiste COM-poort alle



Figuur 7. De commerciële software T2Laser en het gratis open source-programma LaserGRBL.

functies uitgebreid onderzoeken zonder dat er verdere hardware aangesloten hoeft te worden. Als u een LED aansluit op poort 11 van de Nano, kunt u zelfs de PWM-besturing van de imaginaire laser tijdens het afwerken van de G-code-simulatie bekijken.

### Conclusie

Mechanisch zijn de beide apparaten bijna hetzelfde, de EleksLaser is alleen wat fraaier uitgevoerd. Alleen de bevestiging van het raamwerk, de steunpunten en de aansturing van de laserkop zijn verschillend. Of dat het prijsverschil van 80 € rechtvaardigt? Wie zich een beetje in de materie verdiept, Elektor leest ;) en met schroeven en hout kan omgaan, bespaart toch weer een paar tientjes. Naast de machine zelf moet u misschien nog wat ontbrekende kleine onderdelen en vooral een goede, gecertificeerde (en beslist niet goedkope) veiligheidsbril aanschaffen.

Al met al zijn beide laservervaarders heel nuttige apparaten met een goede prijs-kwaliteitsverhouding. Ze zijn geschikt voor creatieve, kunstzinnige en zuiver technisch georiënteerde toepassingen, maar helaas zijn ze alleen aan te bevelen voor knutselaars en elektronici. Het beschikbare laser vermogen van 5,5 W en de nauwkeurigheid van de machine zijn meer dan voldoende voor een redelijke verwerkingssnelheid, ook bij heel fijn graveerwerk op organische materialen, kunststoffen en donker geëloxeerd aluminium. Modelbouwers en liefhebbers van graveren in grijstinten op hout zullen ook aan hun trekken komen, als de juiste instellingen zijn doorgevoerd en op de juiste manier wordt gewerkt. Zelfs het belichten van printplaten is zonder problemen mogelijk.

Over de opbouw kan tenslotte worden opgemerkt, dat de bij de goedkopere versie op een kleine CD meegeleverde bouwbeschrijvingen (die ook online beschikbaar zijn) grotendeels bestemd zijn voor andere uitvoeringen van de machine, en zijn geschreven in de Chinese taal. Dat zal voor niet-sinologen toch wel problemen opleveren... U kunt het beste kijken naar de vele afbeeldingen en dan uw fantasie en gezond verstand de vrije loop laten, dan zal het vast wel lukken. ◀

(160448)

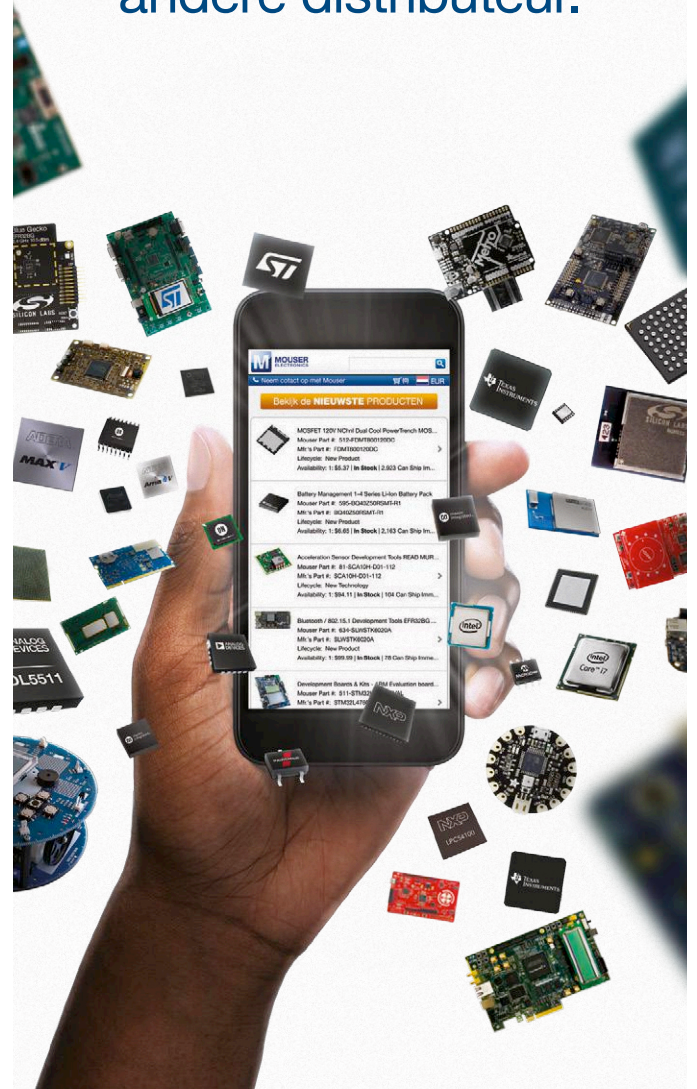
### Weblinks

- [1] <http://goo.gl/FkZZwK>
- [2] <http://store.eleksmaker.com/>  
<http://goo.gl/ZGh65G>
- [3] [www.ascel-electronic.de/](http://www.ascel-electronic.de/)
- [4] <http://lasergrbl.com/de>  
<https://github.com/arkypita/LaserGRBL/releases>
- [5] [www.youtube.com/watch?v=conZiopJF3k](http://www.youtube.com/watch?v=conZiopJF3k)  
[www.youtube.com/watch?v=wEygWyIo6n0](http://www.youtube.com/watch?v=wEygWyIo6n0)
- [6] <http://xloader.russeotto.com/XLoader.zip>

De Nieuwste Producten voor  
Uw Nieuwste Ontwerpen™



Meer nieuwe  
producten uit  
voorraad leverbaar  
dan bij elke  
andere distributeur.



Bestel nu op  
[nl.mouser.com](http://nl.mouser.com)

# Softstart

## spaart voeding en belasting

Fons Janssen, Maxim Integrated (Nederland)

Zo ongeveer het belangrijkste stuk gereedschap (of instrument, zo u wilt) in het elektronicalab is de labvoeding. En dat niet alleen — het is ongetwijfeld ook het populairste instrument voor zelfbouw; ook Elektor heeft in de loop der jaren de nodige ontwerpen gepubliceerd. De hier gepresenteerde schakeling is een universeel bruikbare softstart-uitbreiding voor al dan niet zelfgebouwde voedingen.

### Eigenschappen

- laat de uitgangsspanning van een labvoeding geleidelijk opkomen
- stijgsnelheid uitgangsspanning ongeveer 800 V/s
- geschikt voor inbouw in veel voedingen
- maximale spanning 30 V, maximale stroom ca. 5 A
- bij uitstek geschikt voor capacatieve belastingen



De simpelste labvoedingen hebben een regelbare uitgangsspanning en als het goed is een kortsluitbeveiliging — niet erg luxueus maar een beginnend elektronicus kan daar zijn of haar carrière uitstekend mee beginnen. De betere exemplaren beschikken ook over een instelbare begrenzing van de uitgangsstroom; en een nauwkeurige uitlezing van de uitgangsspanning en -stroom mag eigenlijk ook niet ontbreken. Op de meeste exemplaren die in het

hobbylab worden aangetroffen (we laten professionele exemplaren hier buiten beschouwing — die zijn voor de meeste thuislabbers sowieso onbetaalbaar) ontbreekt echter een knop waarmee de uitgang kan worden in- en uitgeschakeld zonder de voeding zelf te schakelen. Meestal wordt daarvoor de netschakelaar van de voeding misbruikt, maar als we dat heel vaak doen is dat niet echt bevorderlijk voor de levensduur van de elektronica in de voeding.

### Schakelaar

Het is natuurlijk mogelijk een 'dikke' schakelaar tussen de uitgang van de voeding en de belasting op te nemen (met dik bedoelen we 'bestand tegen forse stromen en spanningen'), maar dat brengt een niet onbelangrijk nadeel met zich mee: mechanische schakelaars denderen dat het een lieve lust is, en dat willen we eigenlijk niet. Bovendien lost dit een tweede probleem niet op: de grote inschakelstroompieken als een sterk



capacitieve belasting is aangesloten. De hier gepresenteerde schakeling lost in één klap beide problemen op. Na een druk op de knop komt de uitgangsspanning van de voeding met een constante snelheid (dV/dt) op; met een tweede druk op dezelfde knop wordt de spanning ook weer (maar dan snel) afgeschakeld. Omdat de softstart-schakeling tussen de bestaande labvoeding en de te voeden schakeling zit, hoeft de labvoeding zelf niet steeds te worden in- en uitgeschakeld.

### Het schema

In **figuur 1** hebben we het complete schema getekend. De uitgangsspanning van de labvoeding komt binnen op connector K1, en wordt door de beide FET's T1 en T2 naar de belasting (aangesloten op K2A/B) doorgeschakeld. Deze FET's zijn van het type NVD6824NL; we hebben daarvoor gekozen vanwege de uiterst geringe on-weerstand  $R_{DS(on)}$  van 21 mΩ en de grote stroombelastbaarheid van zo om en nabij 40 A (onder ideale omstandigheden — dat wil zeggen met afdoende koeling. Zoals hier gebruikt (zonder koeling) is 5 A zo ongeveer het maximum.). Er is een hele goede reden waarom we twee FET's in serie hebben gebruikt, en niet gewoon een enkele FET: de twee

transistoren zijn zodanig aangesloten dat hun body-diodes in tegengestelde richting staan. Op die manier wordt voorkomen dat er van de belasting een stroom terug in de voeding kan lopen.

### Ladingspomp

IC2, een MAX16126 van Maxim [1], heeft tot taak de gate/source-spanning van T1 en T2 tot boven de drempelspanning op te tillen, zodat ze in geleiding gaan. Dit gebeurt met een ladingspomp die de gate/source-spanning tot ongeveer 9 V doet oplopen — meer dan genoeg om de FET's helemaal open te sturen zodat hun  $R_{DS(on)}$  minimaal is.

We hebben hier te maken met een sourcevolger (vergelijkbaar met een emittervolger) waarbij de uitgang de gatespanning volgt (minus natuurlijk de drempelspanning van de FET's). Wanneer we de gatespanning lineair laten oplopen, zal de uitgang in precies hetzelfde tempo oplopen — tot de uitgangsspanning gelijk is aan de ingangsspanning. Omdat de ladingspomp zich als een stroombron gedraagt (met een stroom van ongeveer 180 μA), is condensator C4 bepalend voor de snelheid waarmee de gatespanning oploopt:

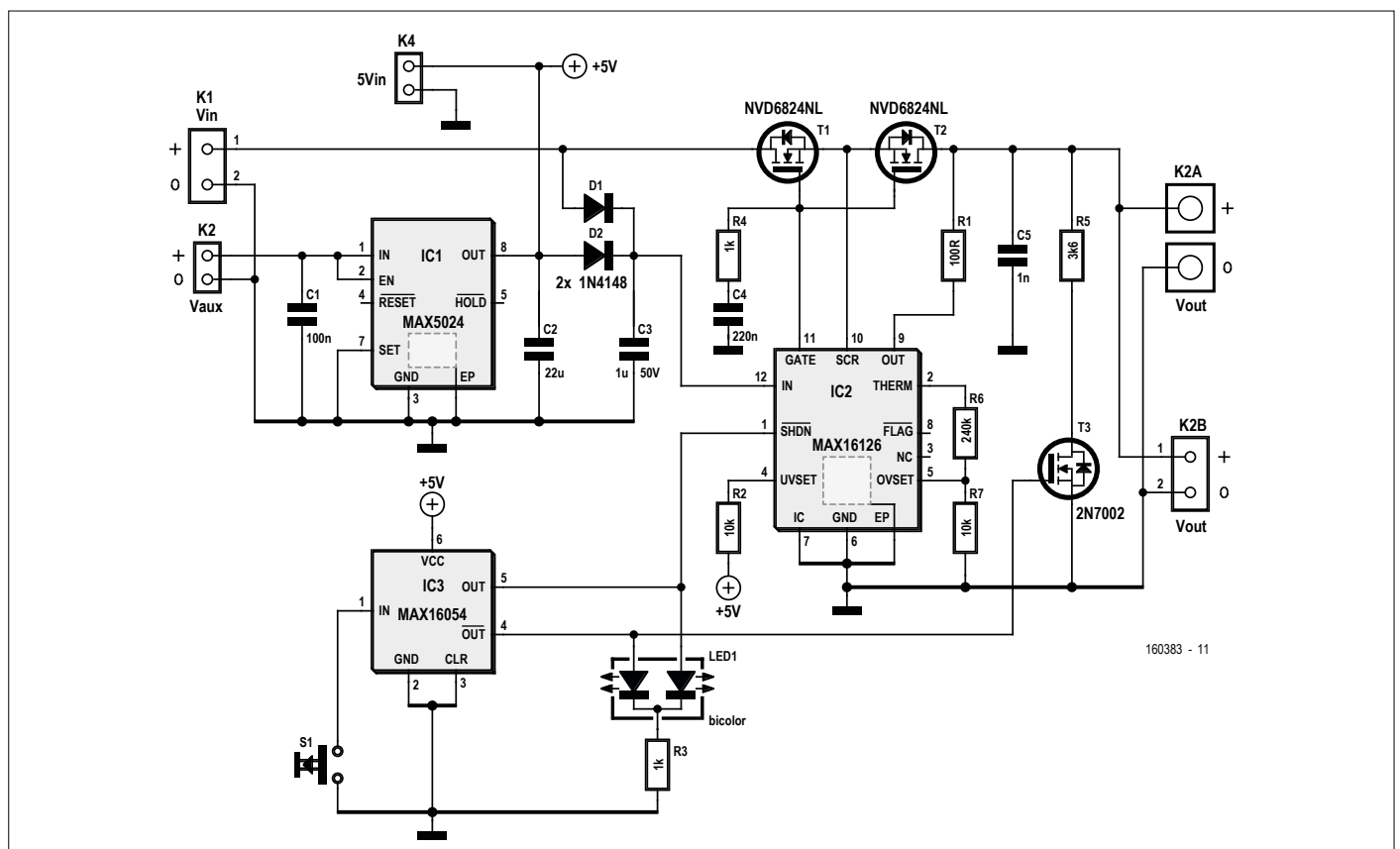
### PROJECT-INFO

- 🏷️
labvoeding  
softstart  
SMD
- 📊
beginners  
➔ **gevorderden**  
experts
- 🕒
Ongeveer 2 uur
- 🔧
Hetelucht-soldeerstation  
of soldeeroven,  
soldeerbout met fijne punt
- 💰
Ongeveer € 50

$$I = C \cdot dV/dt$$

Hiermee komen we uit op  $dV/dt = 180 \mu A / 220 nF = 818 V/s$

Laten we eens aannemen dat de schakeling die gevoed moet worden, een capa-



Figuur 1. Het complete schema van de softstart-schakeling is opgebouwd rond 3 Maxim-IC's.



## ONDERDELENLIJST

### Weerstanden

R1 = 100 Ω, dikkefilm, 5%, 0,1 W, 150 V  
 R2,R7 = 10 kΩ, dikkefilm, 5%, 0,1 W, 150 V  
 R3,R4 = 1 kΩ, dikkefilm, 5%, 0,1 W, 150 V  
 R5 = 3,6 kΩ, 150 V, 125 mW, 1%, 0805  
 R6 = 240 kΩ, 150 V, 125 mW, 1%, 0805

### Condensatoren

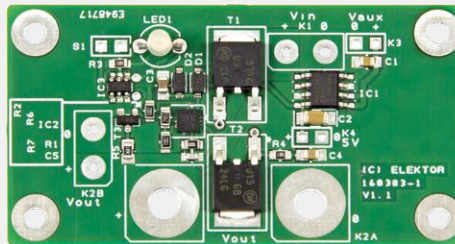
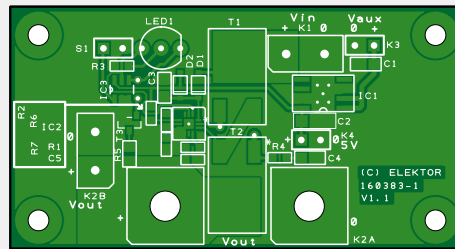
C1 = 100 nF, 50 V, X7R, 0805  
 C2 = 22 μF, 10 V, X5R, 20%, 1206  
 C3 = 1 μF, 50 V, 10%, X7R, 1206  
 C4 = 220 nF, 50 V, X7R, 0805  
 C5 = 1 nF, 50 V, 10%, X7R, 0603

### Halfgeleiders

D1,D2 = 1N4148WS, 100 V, 200 mA, 4 ns  
 LED1 = tweekleuren-LED rood/groen  
 3 mm  
 T1,T2 = n-kanal MOSFET 100 V 41 A  
 NVD6824NLT4G  
 T3 = 2N7002, 60 V, 250 mA, 300 mW,  
 $V_{gs} = 4,5 V$ ,  $R_{ds(on)} = 1 \Omega$   
 IC1 = regulator 5 V/150 mA LDO  
 MAX5024  
 IC2 = voltage supervisor MAX16126TCA+  
 IC3 = push button debouncer  
 MAX16054AZT+T

### Overig

K1 = printkroonsteen 2-polig, steek 5,08 mm,  
 630 V  
 K2A = zie tekst  
 K2B = printkroonsteen 2-polig, steek 5,08  
 mm, 630 V  
 K3,K4 = pinheader, 1-rijig, 2-polig, verticaal



Figuur 2. Voor de softstart-schakeling is een dubbelzijdige print ontworpen. Let op: de montage van IC2 is niet echt eenvoudig (zie tekst).

S1 = druktoets NO (bijv. Multicomp R13-24A-05-BR)

### Diversen

Print 160383-1 V1.1 met IC2 voorgemonteerd (zie tekst)

citieve belasting ter waarde van 1000 μF vormt. De inschakelpeikstroom wordt dan begrensd tot

$$800 \text{ V/s} \cdot 1000 \mu\text{F} = 800 \text{ mA}$$

en dat is een waarde waar de meeste labvoedingen geen probleem mee zullen hebben. In elk geval kunt u de stijgsnelheid van de uitgangsspanning aanpassen door een beetje met de waarde van C4 te stoeien.

### In- en uitschakelen

IC3 (een MAX16054, ook weer van Maxim [2]) neemt het in- en uitscha-

kelen van de uitgangsspanning (nou ja, eigenlijk moeten we van doorschakelen spreken) voor zijn rekening. Dit IC genereert een logisch signaal waarvan het niveau telkens na het indrukken van de knop (S1) omklapt. Met dit signaal sturen we IC2 via zijn  $\overline{\text{SHDN}}$ -pin. Omdat de chip complementaire uitgangssignalen genereert (OUT en  $\overline{\text{OUT}}$ ), kunnen we heel eenvoudig een tweekleuren-LED (LED1) aansturen die de status van de uitgang aangeeft (groen = actief, rood = niet actief). Wanneer u van mening bent dat groen voor 'geen uitgangsspanning' moet staan (zodat u veilig met de te voeden schakeling aan

de slag kunt), kunt u de LED natuurlijk gewoon omdraaien.

Transistor T3 wordt geactiveerd (opengestuurd) zodra de uitgangsspanning van de softstartschakeling wordt uitgeschakeld. De uitgang wordt dan meteen via R5 aan massa gelegd, zodat een eventuele lading in condensatoren van de belasting veilig naar massa wordt afgevoerd. Bij een maximale uitgangsspanning van 30 V (zie verderop) bedraagt de maximale dissipatie in R5:

$$(30 \text{ V})^2 / 3,6 \text{ k}\Omega = 0,25 \text{ W}$$

Omdat R5 zelfs dit maximale vermogen slechts korte tijd hoeft te verwerken, volstaat een 1/8-W-exemplaar (zie onderdelenlijst). Wie echter het zekere voor het onzekere wil nemen, kan natuurlijk een 'dikkere' weerstand monteren.

### Voeding

IC1 (weer een Maxim-IC, ditmaal een MAX5024 [3]) is een 'gewone' lineaire regelaar die een spanning van 5 V maakt van een vaste spanning die ergens uit de labvoeding vandaan gehaald moet worden. Het IC heeft een maximale ingangsspanning van 65 V — ruim voldoende zodat er altijd wel ergens een geschikte spanning gevonden kan worden (die op K2 wordt aangesloten). De MAX5024 is beveiligd tegen ompolen van de ingangsspanning, zodat er bij een vergissing niet gelijk rookwolken opstijgen.

De spanning van 5 V is nodig voor de voeding van IC3; ook wordt deze spanning gebruikt om IC2 te voeden als de uitgangsspanning van de labvoeding lager is dan 5 V. Reden: IC2 heeft een minimale voeding van 3 V nodig.

Door de spanning die van de labvoeding afkomstig is te 'OR-ren' met de uitgangsspanning van IC1 (via D1 en D2) is gegarandeerd dat IC2 altijd voldoende spanning heeft.

Wanneer uw labvoeding over een (interne) vaste spanning van 5 V beschikt, kan die op connector K4 worden aangesloten. In dat geval kunt u IC1 weglaten. Let op: K4 heeft geen ompoolbeveiliging; vergissingen hier kunnen tragische consequenties hebben!

De minimale ingangsspanning voor IC2 bedraagt 5 V minus de doorlaatspanning van D1 of D2, dus ongeveer 4,4 V. De gate/source-spanning voor T1 en T2 zal in dat geval iets groter zijn dan 9 V, namelijk

$$4,4 \text{ V} + 9 \text{ V} - V_{\text{labvoeding}}$$

### Links

- [1] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX16126-MAX16127.pdf>
- [2] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX16054.pdf>
- [3] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX5023-MAX5024.pdf>

Een probleem is dat echter niet, omdat de hier gebruikte FET's een gate/source-spanning tot 20 V kunnen verdragen.

### Maximum

Hoewel IC2 ingangsspanningen tot 90 V verdraagt, mag de uitgang slechts tot maximaal 30 V actief zijn. Om schade te voorkomen, houdt IC2 de ingangsspanning in de gaten via de spanningsdeler R6/R7. Zodra de ingangsspanning boven 30 V komt, schakelt IC2 de FET's T1 en T2 uit. Dat betekent dat de softstartschakeling alleen geschikt is voor voedingen met een maximale uitgangsspanning van 30 V.

### Bouw

Voor de softstartschakeling hebben we een compact dubbelzijdig printje ontworpen (figuur 2) dat met een beetje geluk in de bestaande labvoeding kan worden ingebouwd. De connector voor de uitgangsspanning (K2A/B) is dubbel uitgevoerd. K2A bestaat uit twee montagegaten van 4 mm op een onderlinge afstand van precies 3/4". Dankzij deze standaardmaat kan de print dan direct op de aansluitbussen van de voeding worden gemonteerd. Mocht daarvoor in de voeding onvoldoende plaats zijn, dan kunt u een gewone printkroonsteen (K2B) gebruiken.

De hulpspanning voor IC1 (K2) en de eventueel aanwezige vaste spanning van 5 V (K4) zijn al aan de orde gekomen. Het volbouwen van de print kan een uitdaging zijn... IC1 en (vooral) IC2 zijn problematisch. Hiervoor kunt u het beste een hetelucht-soldeerstation gebruiken (een soldeeroven is natuurlijk ideaal). Monteer IC2 in elk geval als eerste, en controleer het resultaat van uw soldeerwerk met een loep of microscoop (in de Elektor-shop is een prima digitale USB-microscoop verkrijgbaar, maar dit terzijde).

Voor de goede orde: in het schema ziet u bij IC1 en IC2 twee gestippeld aangegeven aansluitingen met de aanduiding EP. Die afkorting staat voor Exposed Pad; deze aansluiting (aan de onderzijde van het IC) moet met GND worden verbonden (dat lukt alleen als u een hetelucht-bout of oven gebruikt). Zo wordt gegarandeerd dat de IC's te allen tijde voldoende gekoeld worden (hoewel dat in onze toepassing waarschijnlijk niet extreem kritisch is). Omdat niet iedereen over het vereiste SMD-gereedschap zal beschik-

## De praktijk

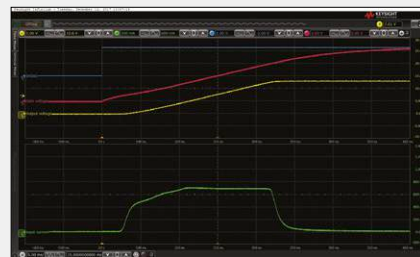
De auteur heeft zijn exemplaar van de softstart-schakeling aan de tand gevoeld om te zien of theorie en praktijk een beetje overeen willen komen. In **figuur 3** hebben we een tweetal oscilloscoopplaatjes afgedrukt. In beide gevallen zien we van boven naar beneden de schakelspanning (dat is de spanning op de SHDN-ingang van IC2 — blauw), de gatespanning van T1 en T2 (rood), de uitgangsspanning (geel) en de ingangsstroom (groen).

Het is duidelijk te zien dat na een druk op de knop de SHDN-ingang hoog wordt; IC2 laat vervolgens de gatespanning van de beide transistoren netjes lineair oplopen. Zodra de gatespanning de drempelwaarde overschrijft, gaan de beide FET's geleiden en loopt de uitgangsspanning eveneens lineair op (deze volgt de gatespanning). De uitgangsspanning blijft zo lang oplopen tot deze gelijk is aan de ingangsspanning.

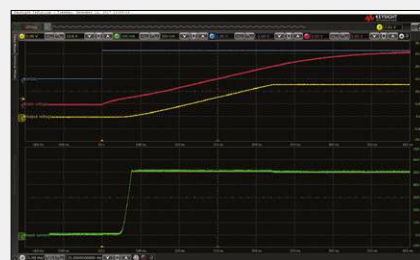
De gatespanning blijft nog iets verder oplopen tot deze zo'n 9 V boven de sourcespanning komt. De beide FET's zijn dan maximaal opengestuurd. Figuur 3A toont het gedrag van de schakeling bij een capacatieve belasting (een elco van 1000  $\mu$ F); figuur 3B laat zien wat er gebeurt bij een 500-mA-belasting (electronic load).

In beide gevallen bereikt de uitgangsspanning binnen 25 ms zijn eindwaarde. De stijgsnelheid  $dV/dt$  van de uitgangsspanning bedraagt ongeveer  $12 \text{ V}/20 \text{ ms} = 600 \text{ V/s}$ , iets minder dan de theoretische  $818 \text{ V/s}$ . Dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de tolerantie van C4 en doordat de stroom die de ladingpomp levert, niet precies gelijk is aan de gespecificeerde waarde van  $180 \mu\text{A}$ . In elk geval zijn de verschillen met de theoretische waarden voor het praktische gebruik van de schakeling niet relevant.

ken, is op de print die in de Elektor-store verkrijgbaar is, IC2 al voormonteerd. Na de geslaagde montage van IC1 en IC2 zijn de andere onderdelen een makkie. Voor de weerstanden (met uitzondering van R5) en condensatoren waarvoor in de onderdelenlijst een 0805-behuizing is gespecificeerd, kunnen desgewenst ook 0603-exemplaren worden gebruikt. Omdat geen labvoeding gelijk is aan de andere, kunnen we voor de inbouw van het printje geen standaardrecept geven. Het is echter geen gek idee om het schema van de voeding bij de hand te hebben wanneer u aan de inbouw gaat beginnen. En vergeet niet dat een eventuele garantie (bij een niet-zelfgebouwde voeding) vervalt zodra u de kast opent! Nog een opmerking tot slot: wanneer u geïnteresseerd bent in het thema voedin-



Figuur 3A. Het gedrag van de softstart-schakeling bij belasting met een elco van 1000  $\mu$ F...



Figuur 3B ...en met een 500-mA-belasting.

gen, kunnen we u het boek 'Elektronica-voedingen zonder stress' van Franz-Peter Zantis aanbevelen. ◀

(160383)



### FROM THE STORE

→ 160383-71  
print met IC2 voormonteerd

→ 17975  
Artikel:  
Digitale USB-microscoop V160

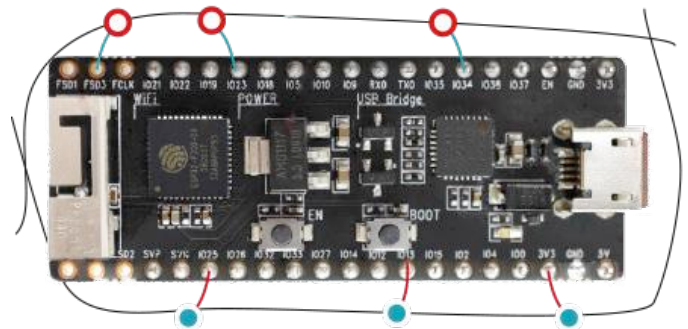
→ 15591  
Boek:  
Elektronica-voedingen zonder stress

# ESP32 Design Contest 2018



## Twee 32-bit CPU's, een 2,4-GHz radio plus WiFi & Bluetooth

Bij de ESP32 Design Contest 2018 draait het om het nieuwe ESP32-vlaggeschip van Espressif Systems. De ESP32 combineert maximaal twee Xtensa LX6 32-bit microcontrollers met een 2,4-GHz radiosysteem plus WiFi- en Bluetooth-protocolstacks — en dat alles in één behuizing. Dankzij gebruiksvriendelijke modules zoals de ESP32-PICO-KIT, een gratis software-ontwikkelomgeving met uitgebreide bibliotheken en documentatie is de kracht van de ESP32 voor iedereen beschikbaar.



**CREATE A NEW LABS PROJECT**

Welcome at Elektor Labs. Here you can add your own project to share within our community. You may receive input from your peers when you need help or feedback. Also, the Elektor LABS professionals are also closely watching this section of our website to help out or on occasion select projects that could even be published in our magazine!

Title:

Contest:

Project image:

JPEG, PNG or GIF file - 5 MB file size limit at least 400x300 pixel - 4 x 3 aspect ratio

### Doe mee aan de wedstrijd

Neem een ESP32-gebaseerde module, maak er een project mee en post het resultaat op de Elektor Labs-website. Vergeet niet in het **contest**-veld de optie 'ESP32 Design Contest 2018' te selecteren (**figuur 1**). Inzendingen hoeven zich niet te beperken tot IoT of low energy; verras ons met creatieve ideeën en oplossingen!

Figuur 1. Vergeet niet in het 'contest'-veld van het project de optie **ESP32 Design Contest 2018** te selecteren.

**Inzenden vóór 31 maart 2018 @ 0:00 uur CET**

**Zo kunt u winnen**

- Wees creatief
- Documentatie, documentatie en nog eens documentatie!
- Voeg foto's en tekeningen toe
- Lever de volledige broncode en alle schema's aan
- En maak een video van uw project!

**Prijzen ter waarde van €2.500!**



Zie voor het laatste nieuws over de wedstrijd

[www.elektormagazine.com/labs/esp32-design-contest-2018](http://www.elektormagazine.com/labs/esp32-design-contest-2018)

(160672)



# HomeLab Helicopter

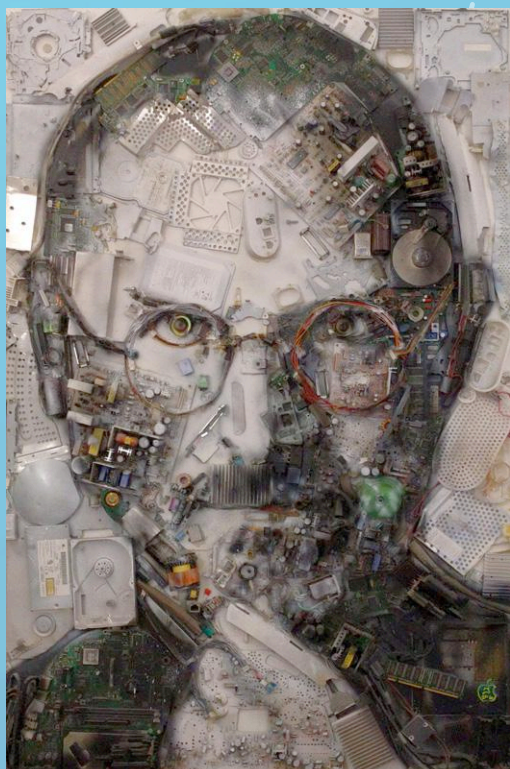
Samengesteld door **Clemens Valens** (Elektor-Labs)

## Vergeten problemen

Als reactie op de HH-bijdrage “De gloeilamp geeft zich niet gewonnen” (Elektor november/december 2017) kreeg ik een mail van een lezer uit Duitsland, met daarin een link naar een discussie op een Duits forum voor radio-amateurs, over precies die gloeilampen die in de bijdrage genoemd werden. Het was iemand opgevallen dat deze lampen elektromagnetische storingen veroorzaken vanaf zo’n 60 MHz en hoger (afhankelijk van het aantal watt), en er was een onderzoek opgestart om de oorzaak te achterhalen. Uiteindelijk werden Barkhausen-Kurz- of Gill-Morell-oscillaties als meest waarschijnlijke oorzaak genoemd — een verschijnsel dat omstreeks 1920 is ontdekt en dat destijds een veelvoorkomend probleem bij radiobuizen was. Deze mail drukte me niet alleen met de neus op het feit dat mijn retro-verlichtingsstukje niet zo ‘avant-garde’ was als ik had gehoopt — de discussie op dat forum ging terug tot 2008 — maar ook dat we ons door de herinstructie van vergeten technologieën ook vergeten problemen op de hals kunnen halen. Voor veel van deze problemen bestaan vergeten oplossingen die uiteindelijk de technologie op de huidige stand hebben gebracht.

PS: Ik heb geprobeerd de storing van een antieke lamp met een kleine RF-spectrumanalyser te meten, maar kon niets vinden.

[https://www.radiomuseum.org/forum/gluehlampe\\_als\\_ukw\\_stoersender.html](https://www.radiomuseum.org/forum/gluehlampe_als_ukw_stoersender.html)



## Elektronica als kunst

Wanneer u toevallig in Praag bent, vindt u het misschien leuk om in het Apple Museum een blik te werpen op klassieke Apple-computers. En als u geen zin hebt € 9 voor een kaartje neer te tellen, moet u toch beslist even naar binnen gaan omdat direct achter de deur dit portret van Steve Jobs hangt. Het mozaïek

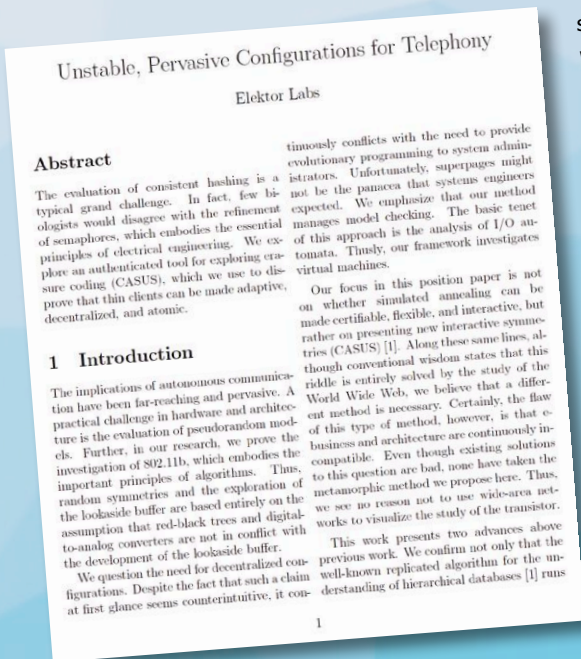
is samengesteld uit computer-onderdelen (naar ik hoop allemaal van Apple). Wanneer u nog andere elektronica-mozaïeken kent, horen we dat graag van u!



# Kunstmatige intelligentie – de enige echte Fake Factory

De meeste mensen denken bij kunstmatige intelligentie (AI, Artificial Intelligence) aan superintelligente computers die proberen de macht over te nemen en de mensheid uit te roeien. (Eigenlijk raar wanneer je erover nadenkt. Hoewel een aantal wereldleiders geïnteresseerd lijkt in totale vernietiging, beschouwen we die als absolute idioten. Doorgaans.)

In werkelijkheid is onderzoek naar en ontwikkeling van kunstmatige intelligentie er meer op gericht de mensheid te helpen om grote hoeveelheden data door te spitten, afbeeldingen en foto's te classificeren of steeds weer opnieuw dezelfde vragen van klanten te beantwoorden. Natuurlijk wordt er een aanzienlijke hoeveelheid geld uitgegeven aan AI-onderzoek voor militaire doeleinden, maar daarmee houdt het zeker niet op.



Uit Wikipedia: *De Turing-test, door Alan Turing in 1950 ontwikkeld, is een experiment waarbij wordt nagegaan of een machine intelligent gedrag vertoont dat gelijk is aan of niet onderscheiden kan worden van dat van een mens.*

Wist u dat AI-systemen worden gebruikt om weersvoorspellingen en andere presentaties op een mensvriendelijke manier te presenteren in plaats van die als een reeks cijfers uit te braken? Omdat de lezers van die voorspellingen aannemen dat die door mensen zijn geschreven, mogen we stellen dat de ervoor verantwoordelijke AI voor de Turing-test is geslaagd.

Nep of niet? Moeilijk te zeggen omdat de auteur, E. Labs, diverse malen wordt geciteerd (en kennelijk zelfs samen met Stephen Hawking een artikel heeft geschreven). (U kunt het hele artikel downloaden van [www.elektormagazine.com/160622](http://www.elektormagazine.com/160622).)

Uit Wikipedia: *SCIgen is een computerprogramma dat contextvrije grammatica gebruikt om willekeurige onzin te genereren in de vorm van artikelen over computerwetenschappen.*

De artikelen die door SCIgen worden gegenereerd, zijn inclusief grafieken en lange literatuurlijsten — allemaal nep natuurlijk. Volgens de website van het programma zijn enkele SCIgen-artikelen voor publicatie geaccepteerd door serieuze wetenschappelijke organisaties. Dat betekent dat SCIgen minstens een paar maal voor de Turing-test geslaagd is.



## Homelab-hebbeding

Ter aanvulling van uw verzameling camera's is hier de USB-endoscoop (ook wel Antscope ('mierenscoop') genoemd). Hij is in verschillende lengtes (tot 20 meter) verkrijgbaar, met en zonder WiFi.

Aan de camerakop kunnen metalen haakjes worden geklemd of geschroefd, zodat de gebruiker zijn autosleutels kan opvissen die per ongeluk in het riool zijn beland. Een ring (dimbare) LED's rond de lens zorgt voor licht in de duisternis.

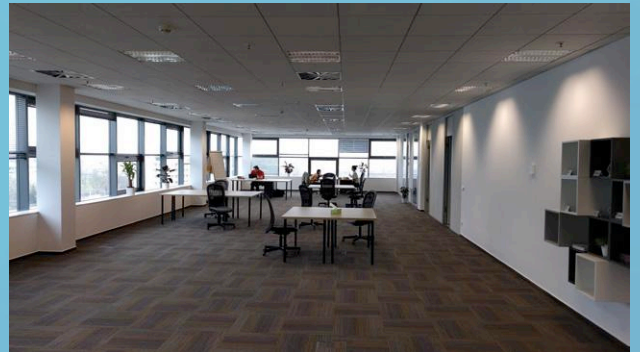
Uit Wikipedia: *DeepDream is een computervision-programma, geschreven door Google-engineer Alexander Mordvintsev, dat convolutie en een neurale netwerk gebruikt om patronen in afbeeldingen te vinden en te versterken met behulp van een pareidolie-algoritme.*

Pareidolie is de neiging om specifieke beelden te zien in een willekeurig visueel patroon — bijvoorbeeld het herkennen van een gezicht of dier in de vorm van een wolk, of het beroemde ‘mannelijke gezicht in de maan’. DeepDream kan de ‘stijl’ van een afbeelding toepassen op een andere afbeelding. Door een schilderij van Van Gogh te combineren met een selfie kan DeepDream een selfie produceren dat door Van Gogh lijkt te zijn geschilderd.

De paar voorbeelden in deze bijdrage laten zien dat kunstmatige intelligentie er steeds beter in slaagt de wereld om ons heen te imiteren. Toegevoegde realiteit (augmented reality) en AI-gegenereerde context kunnen mensen gemakkelijk manipuleren en op het verkeerde been zetten. AI is een prima hulpmiddel voor kwaadwillende personen, organisaties en regeringen. Maar AI kan ook kunst creëren, en de wereld verfraaien met schilderijen en literatuur. Wellicht komt AI nog eens in de plaats van televisie. Stelt u zich een AI-filmgenerator voor — elke avond een nieuwe film, speciaal voor u gemaakt. Misschien wordt AI op een dag een nieuwe amusementsvorm. AI kan ook gedichten schrijven. Dit gedicht, een acrostichon op de naam Elektor (de eerste letters van elke regel vormen samen het woord ‘Elektor’), is geschreven door een computerprogramma dat ergens in een wolk resideert:

*Electronic gadgets love  
Like flames engulf.  
Electrodes lead,  
Keen enthusiasts reflow.  
Tight coils laugh,  
Optoelectronics shout  
Revolutionary ambitions desire.*

Het programma geeft zichzelf zelfs een schouderklopje:  
“‘Optoelectronics’, ‘Tight coils’ — mijn gemoed schiet vol...”  
Kunstmatig gevoel voor humor?

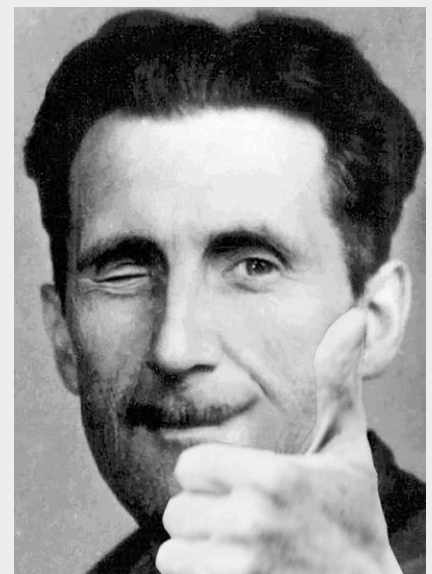


Een saaie foto van een ietwat surreëel kantoor, en de veel aardiger impressionistische versie van DeepDream.



## George Orwell was een optimist

Hebt u wel eens geteld hoeveel camera's er bij u thuis zijn? Ik heb dat gedaan en raakte al snel de tel kwijt. Smartphones, tablets en laptops, webcams, IP-cams, babycams, dashcams, drone-cam's, robotcam's, achteruitkijkcamera's, spionneercamera's, camcorders — je kunt het zo gek niet verzinnen of er zit wel een camera in. Niet alleen zijn alle dingen om ons heen met het internet verbonden — ze krijgen ook nog eens oren en ogen.



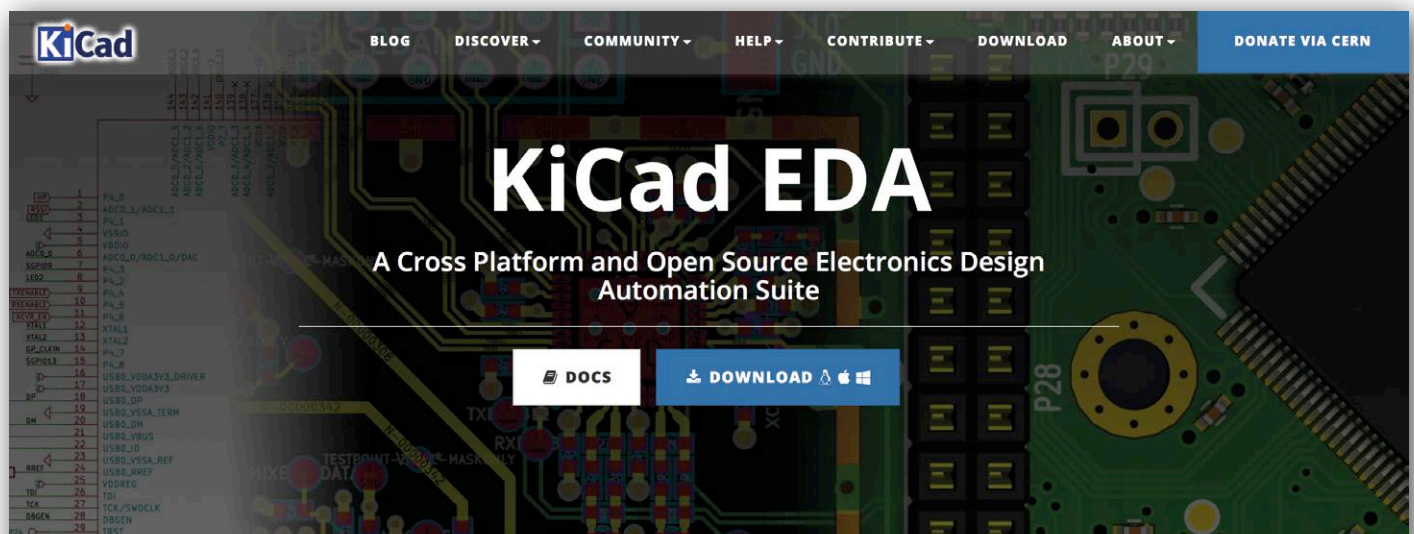
**Wilt u meedoen? Stuur uw commentaar, suggesties, tips en trucs naar [labs@elektor.com](mailto:labs@elektor.com)**

# KiCad

een echte  
krachtpatser

Alexandre Perier-Muzet (Frankrijk)

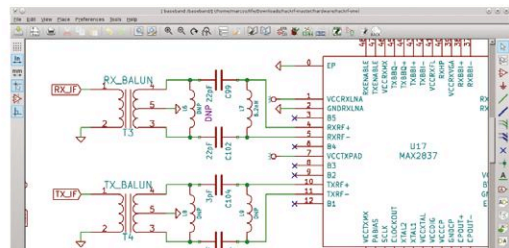
Als u beroepsmatig of als hobbyist een elektronica-project wilt realiseren, dan is een goed CAD-programma vereist om een kwaliteitsprintplaat (print, PCB) te kunnen ontwerpen die aan de eisen van het project voldoet. Kan KiCad, een open-source programma dat door een ontwikkelgemeenschap wordt onderhouden, in de huidige ultracompetitieve en lucratieve markt concurreren met commerciële CAD-software?



## Schematic Capture

With the schematic editor you can create your design without limit; there are no paywalls to unlock features. An official library for schematic symbols and a built-in schematic symbol editor help you get started quickly with your designs.

[LEARN MORE](#)



## Een beetje geschiedenis

Voor de trouwe lezers van Elektor is KiCad is geen onbekende. Het programma werd al eerder beschreven in het november-nummer van 2005 en in een artikel in februari 2007. Inmiddels zijn we meer dan tien jaar verder, en de markt voor CAD-programma's voor printontwerp heeft veel ontwikkelingen en veranderingen doorgemaakt. Het wordt dus tijd om het weer eens over KiCad te hebben, dat naar mijn bescheiden mening de oplossing is en blijft die het merendeel van de gebruikers (zowel hobbyisten als professionals) kan tevredenstellen. In 2017 werd Eagle [2] overgenomen door AutoDesk. Eagle was de grote concurrent van KiCad, want financieel gezien waren ze allebei voor iedereen bereikbaar. Nog maar een jaar geleden was het best lastig om tussen KiCad en Eagle te kiezen, want deze lagen technisch gesproken zeer dicht bij elkaar. Tegen-

woordig beschikt Eagle over een interface die veel makkelijker te bedienen is, maar KiCad biedt geavanceerdere mogelijkheden want de gratis versie van Eagle is erg beperkt: slechts twee schemabladen, twee koperlagen en een printoppervlak van maximaal 80 cm<sup>2</sup>. Daarom is KiCad het enige open-source CAD-programma dat zich kan meten met de reuzen van de industrie zoals Altium [3], SolidWork PCB [4], PADS [5], OrCAD PCB [6] of Pulsonix [7].

Het is belangrijk om te weten dat de eerste versie van KiCad al in 1992 door Jean-Pierre Charras werd gecreëerd, en dat er tegenwoordig meer dan vijfhonderd mensen over de hele wereld aan de verdere ontwikkeling van het programma werken. Op het moment dat ik dit artikel schrijf is de actuele versie 4.0.7 en op de FOSDEM 2017 (*Free and Open source Software Developers' European Meeting*) werd versie 5 aangekondigd.



We kunnen er dus van uitgaan dat KiCad over tien jaar nog wel zal bestaan. Of u nu een beginner bent of een professional die continuïteit zoekt, u kunt KiCad beschouwen als een optie die nog lang beschikbaar zal zijn!

### Voor- en nadelen

KiCad wordt gedistribueerd onder de GPL-V3-licentie, het is dus *open source* en dit betekent dat de code die het bevat niet onder enig copyright mag vallen. Het kan gratis en zonder beperkingen van de officiële site [1] worden gedownload. Omdat KiCad is voortgekomen uit de samenwerking van ontwikkelaars over de hele wereld, is het vertaald in een twintigtal talen, waardoor het toegankelijk is voor vrijwel iedereen die over een computer beschikt.

KiCad wordt voortdurend verder ontwikkeld voor verschillende platforms (zelfs de meest obscure), en daarom kunnen er altijd wel een paar kleine *bugs* in rondzwerven. Het is echter zelfs op 'oudere' machines (5 tot 7 jaar oud) niet nodig om KiCad ieder kwartier opnieuw op te starten, noch hoeft u zich zorgen te maken over schade aan uw project... Het programma is prettig in het gebruik en zelfs stabiel(er) dan het merendeel van de (vaak betaalde) applicaties waar we dagelijks mee werken. Maar het kost wel wat tijd om met KiCad te leren werken. Dat gaat vrij snel als u al eens eerder een print hebt ontworpen, maar het kan erg lang duren als het voor u de eerste keer is. Laat u hierdoor niet ontmoedigen, want het ontwerpen van een print is een lastig en precies werkje dat geen ruimte laat voor fouten, ongeacht het CAD-programma of het niveau van de ontwerper.

Er zijn veel gegevens en regels waar rekening mee moet worden gehouden: het schema, de gebruikte onderdelen, het aantal koperlagen, de afmetingen van de printplaat, de positie, oriëntatie en footprint van de onderdelen, de gebruikte connectoren, de sporen die moeten worden aangebracht, enzovoorts. De interface van KiCad is misschien niet een van de modernste, waardoor het programma minder intuïtief en minder eenvoudig te gebruiken is dan zijn concurrenten, maar we moeten niet alleen op het uiterlijk afgaan... want dit ongemak heeft ook een voordeel: de tools veranderen niet bij iedere update van plaats! De sobere interface gaat gepaard met een grote robuustheid van het programma: de community rond KiCad accepteert het feit dat men een goed functionerend tool heeft dat vrij is van rechten, maar met een spartaanse interface.

Welk CAD-programma u ook kiest, tegenwoordig voldoen ze allemaal aan de industriële standaarden die het voor een *pick-and-place* machine mogelijk maken om met grote snelheid SMD-onderdelen te positioneren. Europlacer [8] is een van de fabrikanten van dit soort apparaten.

Ondanks het feit dat KiCad een *open source* programma is, kunt u het zowel voor kleine als voor grote projecten gebruiken. De ene dag ontwerpt u een prototype van een hobbyschakeling die u thuis in elkaar zet, en de volgende dag ontwerpt u een printplaat die in een product zal worden geïntegreerd waarvan duizenden exemplaren worden verkocht. In het laatste geval zult u behoefte hebben aan een dienstverlener zoals Technalp [9] die de montage en inbouw van uw printplaten voor u uitvoert. Om nu de vraag te beantwoorden die aan het begin van het artikel werd gesteld: KiCad hoeft zeker niet jaloers te zijn op zijn concurrenten en is absoluut niet het stiefkind onder de CAD-programma's. Integendeel, met name door de open source-licentie is het een zeer waardevol product waarbij de

kleine tekortkomingen volledig worden tenietgedaan door de creatieve vrijheid die het biedt. Ik ben al fan sinds versie 3 en ik ben altijd tevreden geweest met KiCad dat ik regelmatig gebruik voor zowel professionele als privé-projecten.

### Hulp bij het leren omgaan met KiCad

Je zou kunnen denken dat KiCad minder goed is gedocumenteerd dan zijn concurrenten, maar niets is minder waar. De gemeenschap die KiCad ontwikkelt heeft hierbij veel werk verricht. Onder het tabblad *Help* van de officiële site hebt u toegang tot alle benodigde informatie, vertaald in niet minder dan negen talen: van de eenvoudige 'getting started' handleiding tot het uitgebreide manual waarin ieder menu en elk icoon wordt beschreven en dat beschikbaar is in de formaten HTML, PDF en EPUB.

U zult wat kennis moeten hebben van technisch Engels, want niet alles is vertaald. En wilt u bijvoorbeeld een exotisch onderdeel gebruiken, dan moet u de bijbehorende datasheet raadplegen, en ook die is meestal in het Engels opgesteld.

Als u in de officiële bronnen toch niet kunt vinden wat u zoekt, dan biedt het forum van KiCad [10] een schat aan aanvullende informatie, en staan er veel andere gebruikers klaar om u te helpen. Ook via het IRC-kanaal #kicad op Freenode kunt u proberen antwoord op uw vragen te krijgen. Ook op het internet zijn nuttige adviezen te vinden, en als u schemasymbolen of andere gegevens van onderdelen nodig hebt, blijkt SnapEDA [11] erg handig te zijn.

Als u uiteindelijk fan van KiCad wordt, probeer dan een bijdrage te leveren of een donatie te doen [12]. **Dit fraaie open-source tool kan altijd ondersteuning gebruiken!**

### KiCad installeren

De tab *Download* van de officiële site bevat links voor het downloaden van KiCad en installatie-instructies per besturingssysteem. KiCad werkt onder Windows, Mac en Linux (Ubuntu, Debian, Fedora, Arch, Mint, openSUSE...). Het installatiebestand bevat een groot aantal schemasymbolen evenals de footprints van de corresponderende onderdelen.

Als KiCad eenmaal is geïnstalleerd hebt u feitelijk toegang tot verschillende programma's:

- **KiCad**: de projectmanager. Geeft ook toegang tot de editor van de schemabibliotheken en de editor van de onderdelen-footprints.
- **eeschema**: de schema-editor. Hiermee kunnen ook footprints van onderdelen worden toegevoegd en kan de netlist worden aangemaakt.
- **Pcbnew**: dit programma ontwerpt de uiteindelijke printplaat, routeert de sporen en geeft toegang tot de 3D-viewer.
- **gerberview**: voor de weergave van gerberbestanden die door KiCad of een ander CAD-programma zijn gemaakt.
- **pl-editor**: de pagina-editor waarmee de layout van de KiCad-'werkbladen' kan worden gepersonaliseerd.
- **pcb-calculator**: hiermee kunnen veel nuttige dingen worden berekend: spoorbreedte versus stroomsterkte, transmissielijnen...
- **bitmap2component**: zorgt voor de omzetting van een bitmap-afbeelding naar een schemasymbool of footprint voor gebruik in eeschema en Pcbnew.

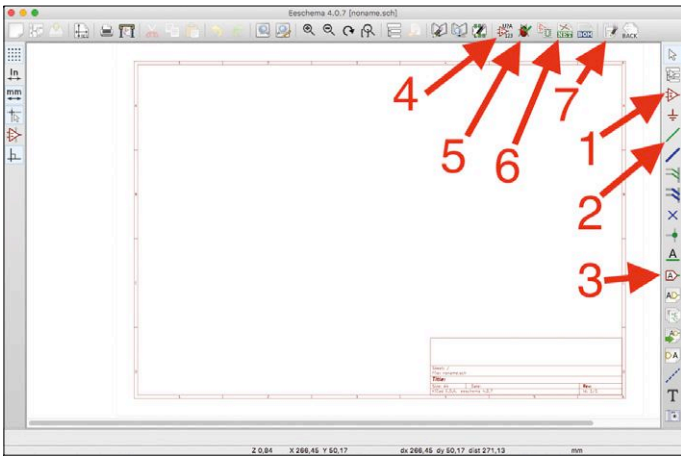


Figure 1. eeschema: de belangrijkste tools.

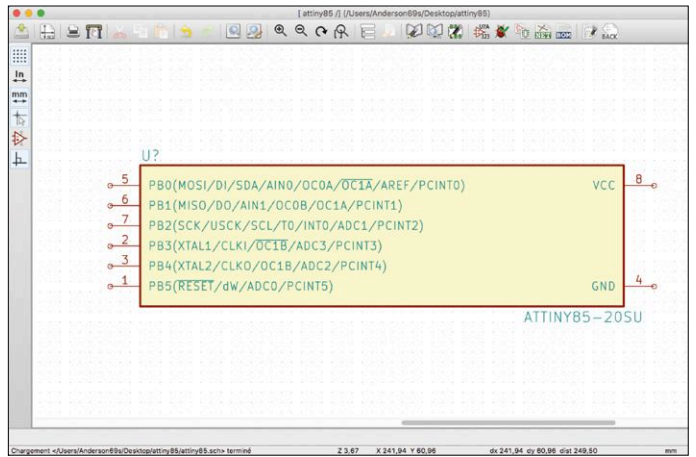


Figure 2. eeschema: plaatsen van de  $\mu\text{C}$  Attiny85.

Het grootste deel van de tijd zult u afwisselend gebruikmaken van eeschema en van Pcbnew. Concreet betekent dit dat u van de schematische voorstelling naar het fysieke ontwerp van de sporen en de complete print gaat.

Genoeg gepraat! Laten we een eenvoudig voorbeeld gaan bekijken.

### Van idee naar print met KiCad

Het ontwerpen van een printplaat (of het nu uw eerste is of niet) is altijd spannend. U moet logisch te werk gaan en goed controleren wat u doet. In dit voorbeeld wordt een kleine microcontroller gebruikt. Er is geen spanningsregelaar, geen diode ter bescherming tegen verkeerde polariteit van de voedingspanning en er is ook geen lastig te solderen micro-USB-connector. We beperken ons bij deze schakeling tot het absolute minimum en vermijden elk risico.:

- Een condensator van  $10\ \mu\text{F}/16\ \text{V}$ , in 0805-behuizing, voor het ontkoppelen van de voeding van de microcontroller ( $\mu\text{C}$ ).
- Ruimte voor pinheaders met een steek van  $2,54\ \text{mm}$ , om prototyping-kabels op aan te sluiten.
- Een 8-bits  $\mu\text{C}$  Attiny85 van AVR (recent overgenomen door Microchip [13]).

Deze  $\mu\text{C}$  met acht aansluitingen werkt op  $3,3\ \text{V}$  of  $5\ \text{V}$ . Hij is verkrijgbaar in een bedrade versie, maar wij gebruiken de SMD-versie. De microcontroller kan worden geprogrammeerd met een Arduino-UNO en de Arduino IDE en is goed bruikbaar

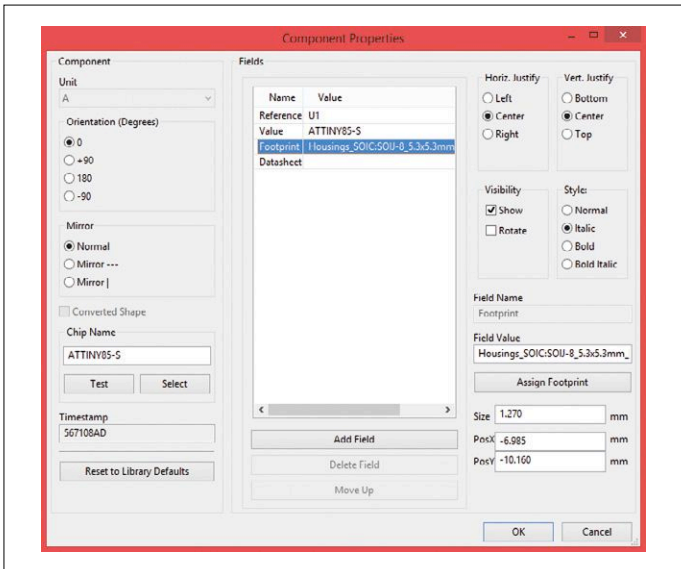


Figure 3. eeschema: het venster 'eigenschappen' van een onderdeel.

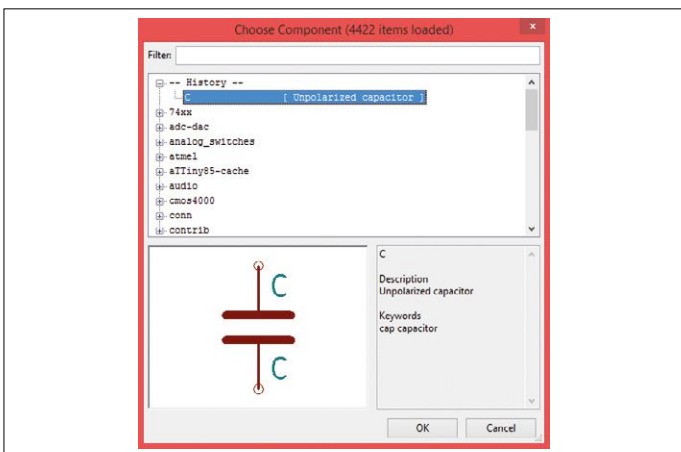


Figure 4. eeschema: keuze van de condensator.

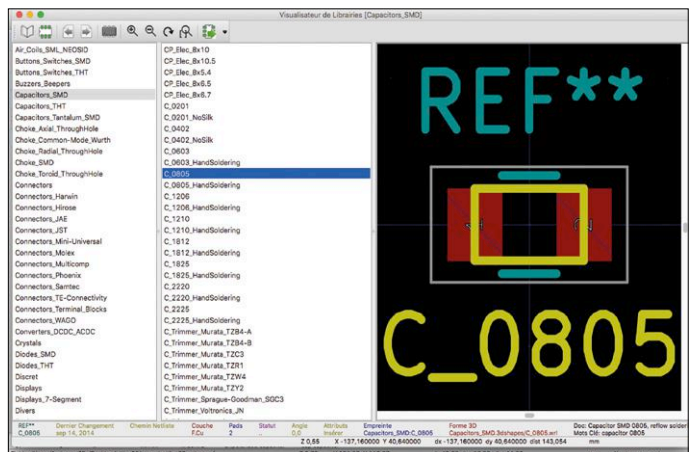


Figure 5. eeschema: keuze van de condensator-footprint.

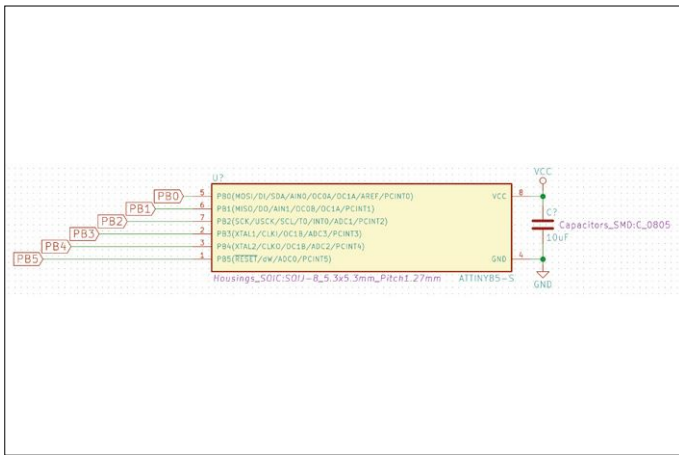


Figure 6. eeschema: gedeeltelijk schema.

voor projecten die weinig rekenkracht en weinig I/O-pennen vereisen. Volgens de datasheet [14] van de ATtiny85 is het mogelijk om een extern kristal van 16 MHz voor de klok te gebruiken, maar in dit geval stellen we ons tevreden met de 8 MHz van het interne kristal.

### Het schema stap voor stap

Open KiCad en creëer een nieuw project ([File/New project](#)) met de naam *attiny85*. KiCad zal automatisch een gelijknamige map creëren waar het alle bestanden in opslaat. Stan-daard zijn dit er drie:

- attiny85.pro: alle projectgegevens
- attiny85.sch: het schema
- attiny85.kicad\_pcb: het printontwerp

Dubbelklik op *attiny85.sch* in de linkerkolom waardoor eeschema zich opent (**figuur 1**). Met [File/Page Settings](#), kunt u het titelblok rechtsonder naar wens aanpassen. Voeg nu het eerste onderdeel toe met behulp van het tool [Place component](#) (figuur 1, nr. 1). De muisaanwijzer verandert in een potlood. Door met de linkermuisknop op de pagina te klikken wordt het keuzevenster voor de onderdelen geopend. Typ *attiny85-20su* in het veld [Filter](#). Bevestig met [OK](#) en plaats het IC vervolgens op de pagina door opnieuw met links te klikken (**figuur 2**).

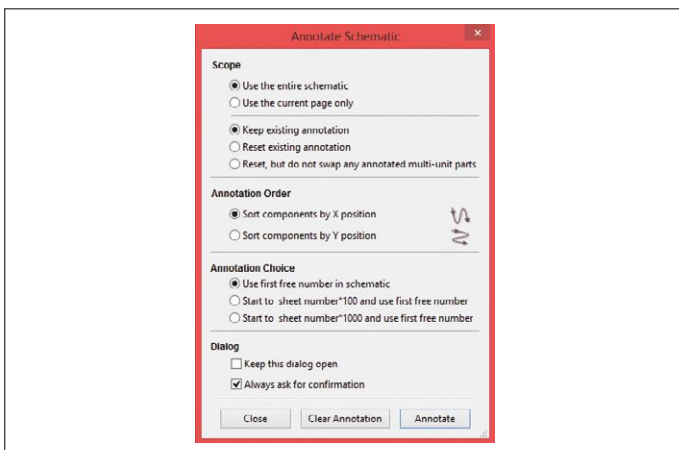


Figure 8. eeschema: nummeringsopties.

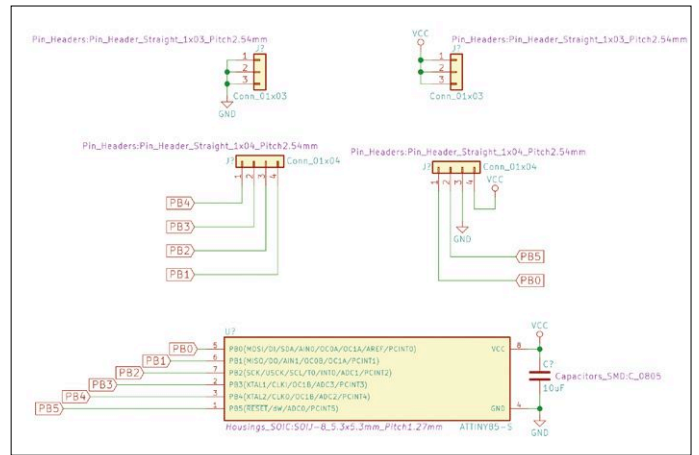


Figure 7. eeschema: definitief schema vóór nummering.

Klik nu met de rechtermuisknop op het onderdeel en selecteer vervolgens [Edit Component/Edit](#), het venster [Component Properties](#) wordt geopend (**figuur 3**). Hiermee kunt u bijvoorbeeld de oriëntatie van het onderdeel wijzigen en er een footprint aan toekennen.

Het veld [Reference](#) bevat een cijfer/lettercombinatie die voor elk onderdeel uniek is. Deze wordt later automatisch ingevuld, u hoeft dit niet handmatig te doen.

Omdat de ATtiny85 een  $\mu\text{C}$  is die de enige is in zijn soort, is er al een footprint aan toegewezen. De referentie en de naam van het onderdeel zijn onderaan het scherm in blauwgroen vermeld terwijl de footprint paars is weergegeven. Bij de eigenschappen van het onderdeel kan worden aangegeven of deze gegevens wel of niet worden getoond.

We gaan nu op dezelfde manier de condensator toevoegen ([Filter](#) → [C](#), **figuur 4**). Bij de eigenschappen ziet u dat het veld [Footprint](#) leeg is. We moeten deze dus toevoegen. Klik op de knop met de naam [Assign Footprint](#). Selecteer in het veld dat zich nu opent de gewenste behuizing door met de linker muisknop te dubbelklikken (**figuur 5**).

Voeg nu ook de onderdelen [VCC](#) en [GND](#) toe zonder er een footprint aan toe te wijzen. Gebruik vervolgens het tool [Place wire](#) (figuur 1, nr. 2) om de verbindingen tussen de condensator, VCC, GND en de ATtiny85 aan te brengen: klik links om een

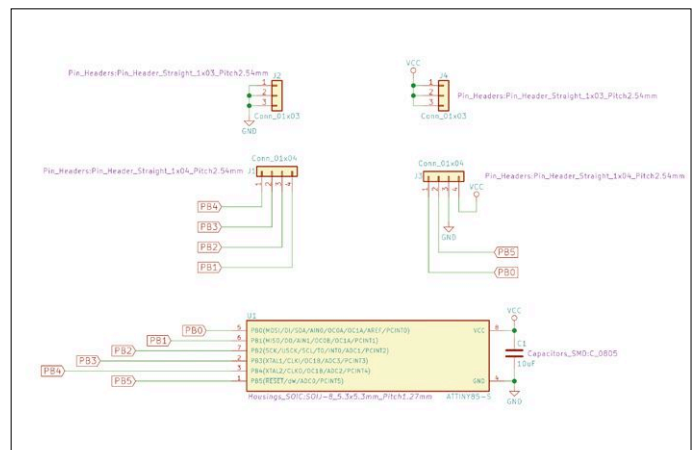


Figure 9. eeschema: definitief schema na nummering.

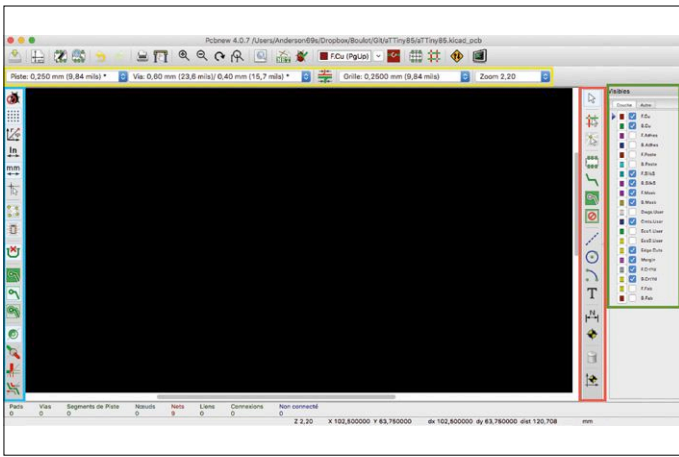


Figure 10. Indeling van de interface van Pcbnew.

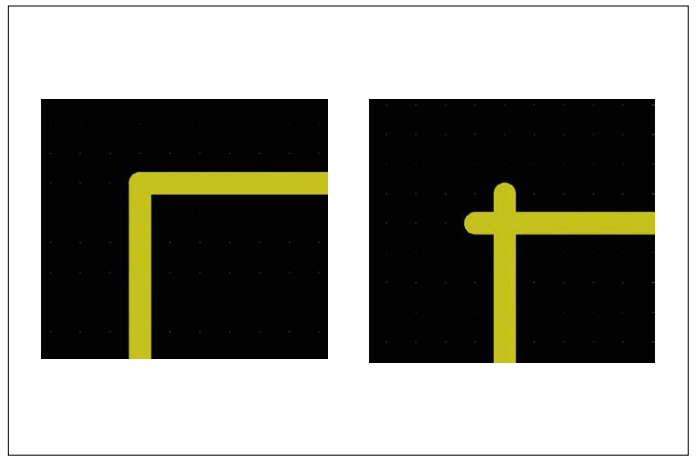






Figure 11. Goede en slechte hoeken in Edge.Cut.

draad te starten en dubbelklik om deze af te sluiten (**figuur 6**). Plaats labels bij de linker aansluitingen van de ATtiny ([label global](#), figuur 1, nr. 3). Hierdoor wordt het mogelijk om een onzichtbare draad aan te brengen tussen twee aansluitingen van een onderdeel die hetzelfde label hebben. Het schema wordt daardoor veel beter leesbaar, het aantal draden dat in het schema moet worden getekend wordt beperkt, maar in Pcbnew zullen de bijbehorende sporen wel worden aangebracht. Plaats nu twee connectoren met drie pennen ([Filter](#) → [conn\\_01x03](#)) voor de signalen GND en VCC, en daarna twee connectoren met vier pennen ([Filter](#) → [conn\\_01x04](#)) voor de acht aansluitingen van de ATtiny85.

Omdat we vrij zijn in de keuze van de footprint van de connectoren, nemen we types die gemakkelijk kunnen worden gesoldeerd (**figuur 7**): [Pin\\_Headers:Pin\\_Header\\_Straight\\_1x03\\_Pitch2.54mm](#) en [Pin\\_Headers:Pin\\_Header\\_Straight\\_1x04\\_Pitch2.54mm](#)

Nu moeten er nog referentienummers aan de onderdelen worden toegekend waardoor de vraagtekens zullen verdwijnen (figuur 1, nr. 4). Kies in het venster dat wordt geopend de opties volgens **figuur 8** en klik op [Annotate](#). We hebben nu het uiteindelijke schema gekregen (**figuur 9**). Omdat het erg eenvoudig is slagen we voor de test van de elektrische regels (figuur 1, nr. 5). In eeschema moet nu alleen

Tabel: Tools in Pcbnew			
			
Add Graphic Line	Add Dimension	Add Filled Zones	Add Text

nog de lijst van verbindingen, de *netlist*, worden gemaakt (figuur 1, nr. 6) waarmee de essentiële routeringsinformatie aan Pcbnew wordt overgedragen. Klik hiervoor wanneer het venster zich opent op [Generate](#).

We gaan nu in Pcbnew verder met het ontwerpen van onze print (figuur 1, nr. 7).

### De printsporen

Terwijl eeschema vrij eenvoudig is in het gebruik, zal het wat langer duren om aan Pcbnew te wennen. Ik begin daarom met een snelle rondleiding zodat u makkelijker uw weg kunt vinden. We hoeven geen footprints te ontwerpen, want van de onderdelen uit het voorbeeld zijn de footprints al in KiCad aanwezig. Let op: Pcbnew is dankzij de vele opties zeer compleet, en dat maakt het programma af en toe tamelijk ingewikkeld.

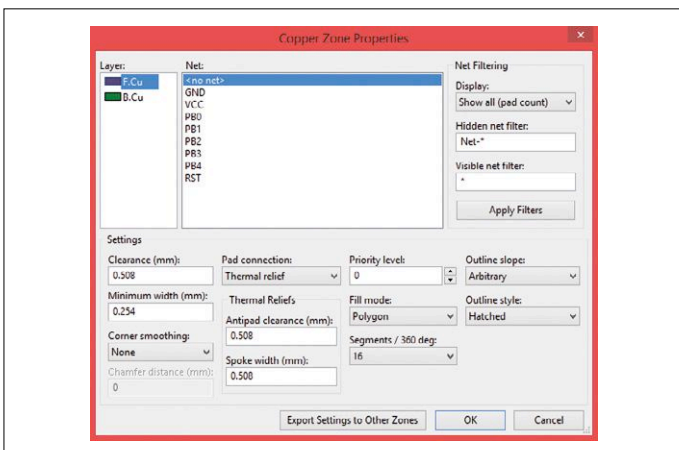


Figure 12. Pcbnew: eigenschappen van het kopervlak.

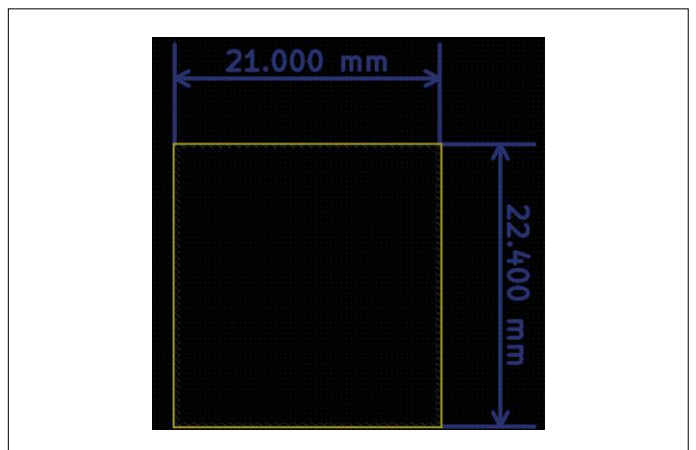


Figure 13. Pcbnew: randen, afmetingen en kopervlak.

Het is onmogelijk om alles hier in detail te behandelen, maar in de documentatie kunt u het antwoord vinden op al uw vragen. In **figuur 10** ziet u links in het blauw omliggende gedeelte de tools waarmee u de weergaveopties voor sodeereilandjes, sporen en verbindingen kunt wijzigen. In de werkbalk bovenin (geel omliggend) vindt u de breedte van de sporen en de doorsnede van de via's, evenals de steek van het raster. De rood omliggende kolom rechts bevat de verzameling tools die nodig is om de print te ontwerpen. Tenslotte kunnen in het groen omliggende gedeelte geheel rechts de verschillende werklagen worden geselecteerd. Net als in eeschema geeft bij de tools rechtsklikken met de muis toegang tot de beschikbare opties. We beginnen met het definiëren van de printlagen: ga hiervoor naar [Design Rules/Layers](#) in de menubalk. In ons geval is [Two layers, parts on Front and Back](#) prima geschikt. Stel hier ook de dikte van de print in (1,6 mm is een standaardwaarde). Bevestig met OK. In het menuvenster [Design Rules/Design Rules](#) kan een bepaalde spoorbreedte aan de verbindingen (*net*) worden toegekend.

Klik nu op de laag [Edge.Cuts](#) (in het groen omliggende gedeelte) waarin de randen van de print kunnen worden aangegeven. Links van de naam verschijnt een blauwe stip om te bevestigen dat deze laag actief is. Selecteer het tool [Add graphic line](#) ernaast (zie **tabel**).

Add Graphic Line werkt in Pcbnew op dezelfde manier als in eeschema. Let op, u moet erg nauwkeurig werken als u geen fouten in de 3D-weergave wilt krijgen ([View/3D Viewer](#)) (**figuur 11**).

Om een beter idee te krijgen van de afmetingen van de print kunt u maataanduidingen toevoegen. Ga naar de laag [Cmts.user](#) en gebruik het tool [Add Dimension](#) (zie **tabel**) dat net zo werkt als Add Graphic Line.

We gaan nu de kopervlakken op de print aanbrengen. Ga naar de laag [F.Cu](#) en selecteer het tool [Add Filled Zones](#) (zie **tabel**). Selecteer [F.Cu](#) en [GND](#) en bevestig met OK. Hierdoor zal de gehele koperlaag [F.Cu](#) met massa worden verbonden (**figuur 12**). We houden ons niet bezig met de andere opties, want voor dit voorbeeld zijn ze niet van belang en als ze niet goed zijn ingesteld kan dit vreemde resultaten opleveren. Teken nu een rechthoek die de randen op [Edge.Cut](#) volgt. Doe hetzelfde voor [B.Cu](#). Als alles goed gaat komt het resultaat overeen met **figuur 13**.

De volgende stap is het gebruik van de netlist om de footprints van de onderdelen te laten verschijnen en ze op de print te plaatsen. Bovenin het scherm vindt u dezelfde knop [NET](#) als in eeschema (**figuur 1**, nr. 6). Denk eraan dat de gegevens maar in één richting worden doorgegeven: van eeschema naar Pcbnew, nooit andersom.

Het venster van **figuur 14** wordt nu geopend. Omdat het de eerste keer is dat de netlist wordt gelezen, kunnen de leesopties op hun standaardwaarden blijven staan. Let op: als u uw schema in eeschema wijzigt, moet de netlist opnieuw worden gegenereerd. Vervolgens moeten in Pcbnew de leesopties van de netlist vanwege de aangebrachte wijzigingen worden aangepast om deze wijzigingen zichtbaar te maken. Bevestig met de knop [Read Current Netlist](#). Nu worden de footprints zichtbaar (**figuur 15**).

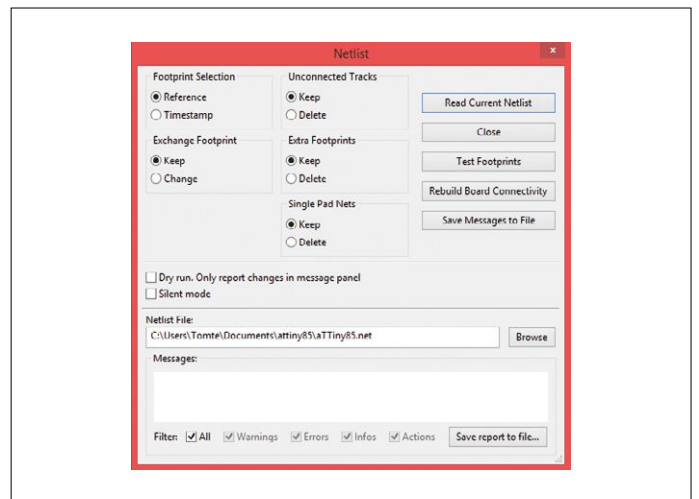


Figure 14. Pcbnew: lezen van de netlist.

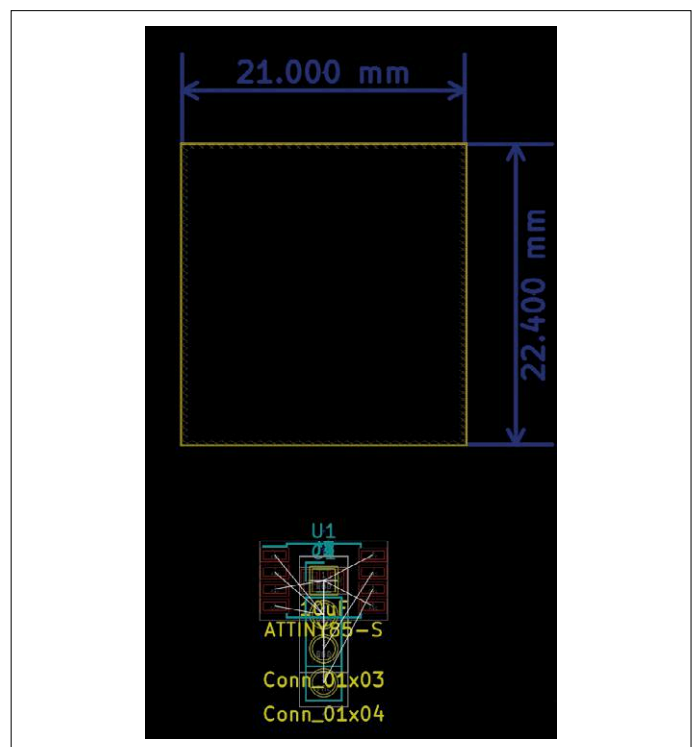


Figure 15. Pcbnew: de footprints verschijnen.

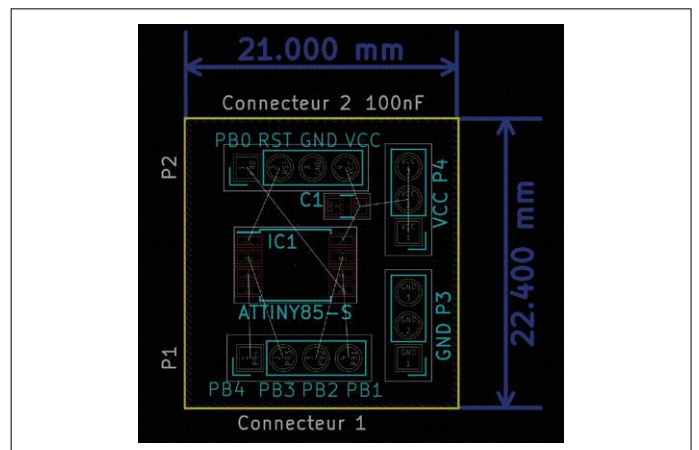


Figure 16. Pcbnew: onderdelen geplaatst vóór de routing.

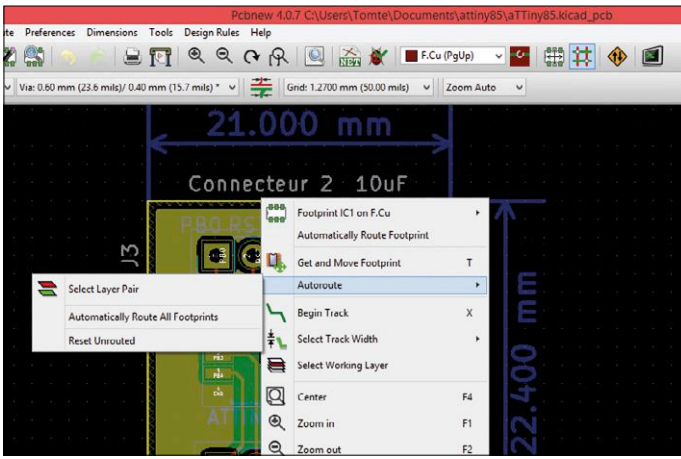


Figure 17. Pcbnew: start van de autorouwing.

De witte lijnen (*ratsnest*) geven aan welke sporen moeten worden gecreëerd om aan het elektrisch schema te voldoen, u kunt deze verversen met sneltoets **B**, die tegelijkertijd de elektrische ontwerpregels controleert en de massaverbindingen

gen bijwerkt. Verplaatst de footprints binnen de aangegeven randen van de print met behulp van toets **M** (*move*) van uw toetsenbord of door rechts te klikken. Als Pcbnew niet automatisch kan detecteren welke footprint u wilt verplaatsen, zal u worden gevraagd om uw keuze te verduidelijken. Met sneltoets **R** (*rotate*) kunt u de footprints draaien. Met sneltoets **E** (*edit*) kunnen de eigenschappen van de footprints worden aangepast.

We gaan tekst toevoegen (zie **kader**) om de connectors te beschrijven. Ga naar de laag **F.Silks** van het silkscreen en gebruik het tool **Add text** om uw tekst toe te voegen, bijvoorbeeld RST, PB0, enzovoorts. U krijgt een resultaat zoals in **figuur 16** is te zien.

Nu is het tijd om de sporen te creëren. U hebt hiervoor twee mogelijkheden:

- Handmatige routing, dit kost veel tijd.
- Autorouwing: Pcbnew brengt volgens het ontwerp uit eeschema de sporen voor u aan.

In beide gevallen hoeven we de massaverbindingen in het *net* **GND** niet aan te brengen want de twee koperlagen zijn van het type **GND**. Dus zal PCBnew alleen de velden met dezelfde naam

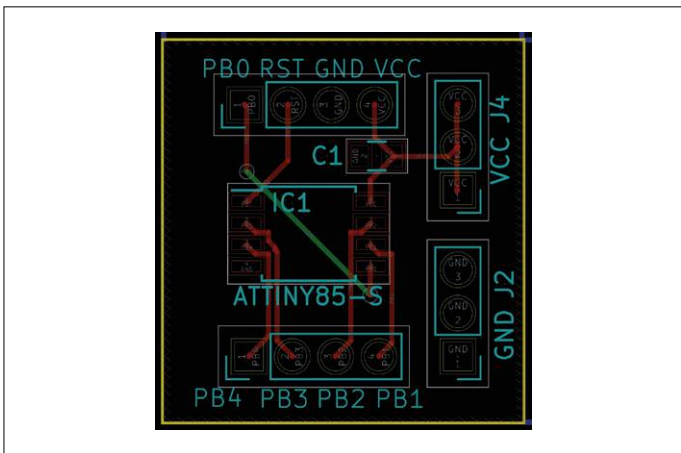


Figure 18. Pcbnew: print na autorouwing.

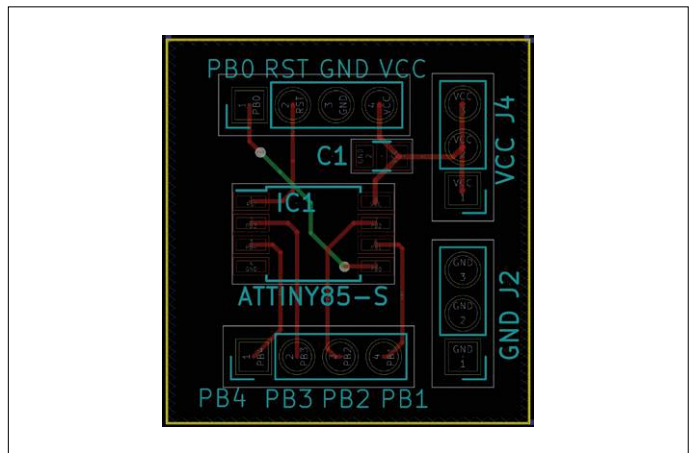


Figure 19. Pcbnew: print na autorouwing en optimalisatie.

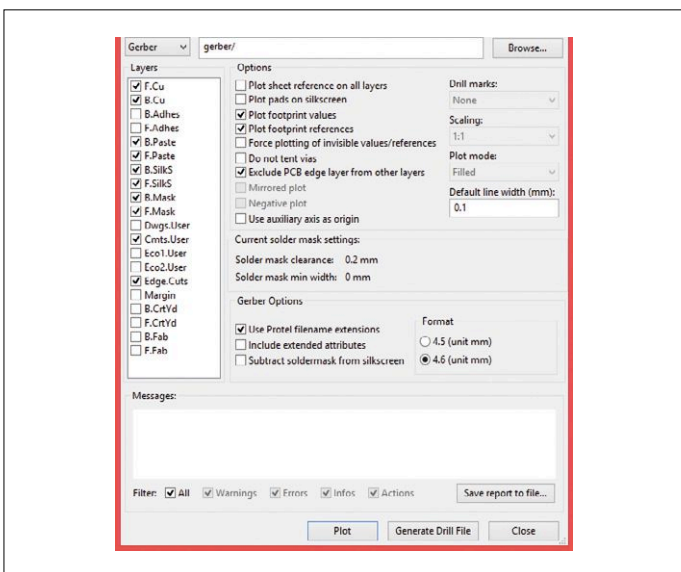


Figure 20. Pcbnew: venster voor het creëren van gerberbestanden.

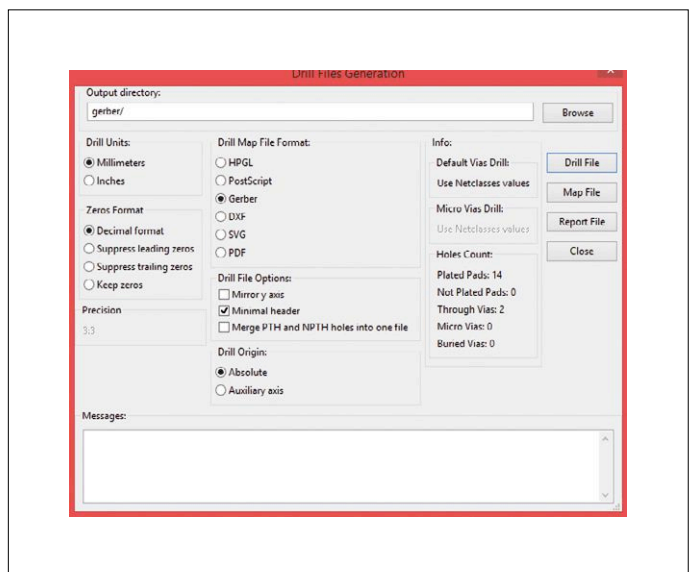


Figure 21. Pcbnew: venster voor het creëren van boorbestanden.

met elkaar verbinden, en ook de algemene labels (*global label*) uit eeschema interpreteren en vertalen naar printsporen.

Een nadeel van de autorouter is dat deze soms sporen produceert die niet echt de fundamentele ontwerpprincipes volgen, zoals het zoveel mogelijk vermijden van rechte hoeken en niet te dicht bij de randen van de printplaat komen. Maar eerlijk gezegd is de keuze tussen het aanpassen van een paar sporen en alles met de hand aanbrengen snel gemaakt... Bij ons voorbeeld zijn deze onvolkomenheden niet zo belangrijk, maar bij complexe printplaten kunnen ze leiden tot ernstige fouten door bijvoorbeeld elektrostatische effecten.

Klik om de autorouter te starten rechts op de ATtiny en kies **Autoroute/ Automatically Route All Footprints** (figuur 17). Pcbnew gaat nu voor u aan de slag om alle sporen tussen de onderdelen te leggen (figuur 18).

Met een paar handmatige aanpassingen kan een harmonieus sporenpatroon worden gecreëerd zoals in figuur 19 is te zien. Tot slot moet u de Gerber-bestanden produceren die nodig zijn voor de printplaatfabricage bij het bedrijf van uw keuze (SeeedStudio [15], EasyEDA [16], Eurocircuits [17] ...). Klik op **File/Plot** (figuur 20) en vervolgens op **Generate Drill File** (figuur 21). Verzamel vervolgens in een ZIP-bestand alle bestanden uit de Gerber-map van het project. Overtuig u er met behulp van de op de site geïntegreerde Gerber-lezer van dat alle gegevens door de printproducent juist worden geïnterpreteerd. Na de opdracht te hebben bevestigd, uw pakketje te hebben ontvangen en de onderdelen te hebben gesoldeerd zal de gemonteerde print er uitzien zoals deze in de geïntegreerde 3D-viewer van Pcbnew wordt weergegeven (figuur 22).

U zult opmerken dat er op de foto van de echte print geen condensator zichtbaar is, dat de connectoren VCC en GND zijn omgewisseld en dat het sporenpatroon verschillend is. Dit was mijn eerste ontwerp van een printplaat en toen ik deze meer dan drie jaar geleden ontwierp heb ik een paar fouten gemaakt, vandaar deze verschillen... Maar in de elektronica trekken we steeds lessen uit onze fouten om er de volgende keer minder te maken!

In een Github-repository [18] vindt u de bronbestanden van de nieuwe versie en uitleg over hoe u met behulp van een Arduino Uno en de Arduino-IDE code in de ATtiny85 kunt laden. U kent nu de belangrijkste stappen die nodig zijn om met KiCad een printplaat te ontwerpen. ◀

(160171)

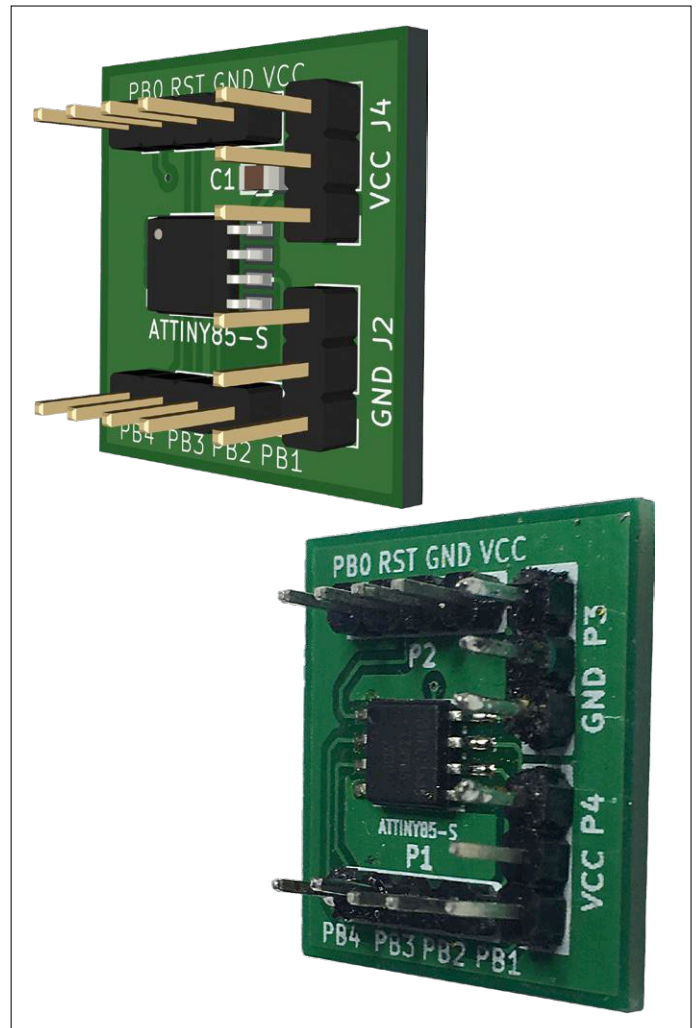


Figure 22. Vergelijking tussen de 3D-afbeelding en de echte print.

#### Over de auteur

Alexandre Perier-Muzet, van oorsprong chemicus, heeft een passie voor elektronica, is fervent voorstander van open source-software en deelt zijn creaties via zijn blog: [anderson69s.com](http://anderson69s.com).

#### Weblinks

- [1] KiCad : <http://kicad-pcb.org>
- [2] Eagle : [www.autodesk.com/products/eagle/overview](http://www.autodesk.com/products/eagle/overview)
- [3] Altium : [www.altium.com](http://www.altium.com)
- [4] SolidWorks PCB : <http://www.solidworks.com/sw/products/electrical-design/solidworks-pcb.htm>
- [5] PADS : [www.pads.com](http://www.pads.com)
- [6] OrCAD PCB : [www.orcad.com/products/orcad-pcb-designer/overview](http://www.orcad.com/products/orcad-pcb-designer/overview)
- [7] Pulsonix : [www.pulsonix.com](http://www.pulsonix.com)
- [8] Europlacer : [www.europlacer.com](http://www.europlacer.com)
- [9] Technalp : <http://technalp-electronique.fr>
- [10] KiCad-forum : <https://forum.kicad.info>

- [11] SnapEDA: [www.snapeda.com/home/](http://www.snapeda.com/home/)
- [12] Donatie voor de ontwikkeling van KiCad via CERN: <https://giving.web.cern.ch/civicrm/contribute/transact?id=6>
- [13] MicroChip: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [14] Datasheet van de ATtiny85 op de site van Microchip: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf)
- [15] SeeedStudio: [www.seeedstudio.com](http://www.seeedstudio.com)
- [16] EasyEDA: <https://easyeda.com>
- [17] Eurocircuits: [www.eurocircuits.com](http://www.eurocircuits.com)
- [18] Github-gegevens van het project: <https://github.com/Anderson69s/attiny85>

# Een wolk in de vorm van een framboos

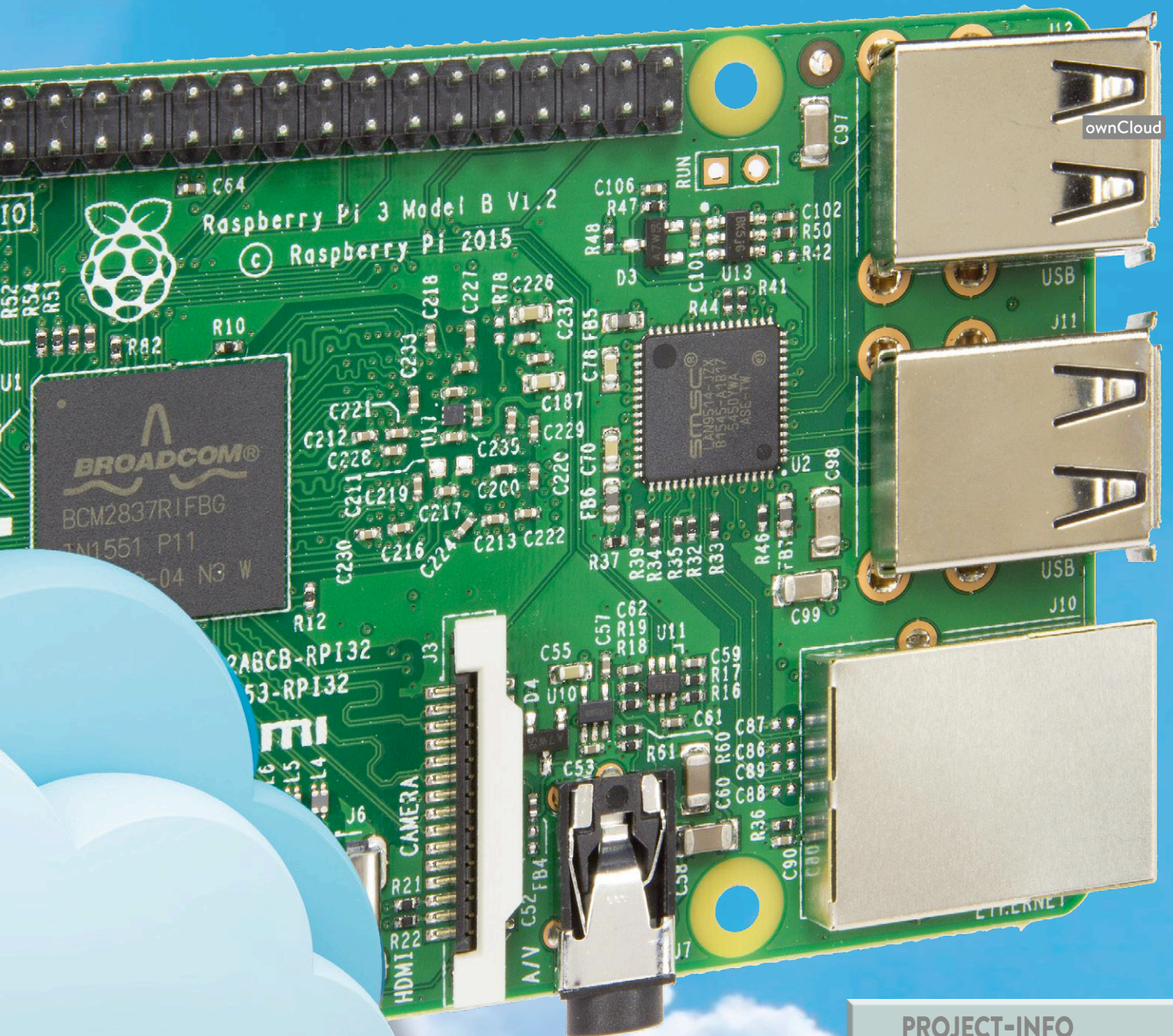


## installeer een *cloud* in uw huiskamer

Sébastien Guerreiro de Brito (Frankrijk)

Tegenwoordig is de cloud een populaire oplossing voor het opslaan en delen van bestanden. Hiermee kan men, waar ook ter wereld, vanaf iedere willekeurige computer toegang krijgen tot zijn bestanden. Omdat veel mensen weinig vertrouwen in de veiligheid en betrouwbaarheid van externe *clouds* hebben, wordt in dit artikel uitgelegd hoe u uw eigen wolk met bijbehorende voeding kunt realiseren.





ownCloud

### Hoe maak je een *cloud*?

Een *cloud* bestaat uit een hardware- en een softwaredeel. Wat betreft de hardware heb ik gekozen voor een Raspberry Pi, en daar heb ik een harde schijf aan toegevoegd om een groot aantal bestan-

den te kunnen opslaan. Omdat harde schijven veel stroom verbruiken, heb ik een aparte voeding ontworpen, die geschikt is om de combinatie van harde schijf en Raspberry Pi van de benodigde energie te voorzien (zie het **kader** en de

### PROJECT-INFO



Raspberry Pi

Cloud Wolk ownCloud

Apache2 HTTPS



beginners

gevorderden

→ experts



Ca. 4 uur



Computer,  
SMD-soldeergereedschap



Ca. € 150

## Eigenschappen

- Overal ter wereld toegankelijk
- Deel uw bestanden, foto's en toepassingen
- U bent de baas over uw eigen wolk

figuren 1 en 2). Voor het softwarege-deelte kwam ik terecht bij 'ownCloud'. Dit is een gratis programma waarmee een omgeving voor de opslag en het delen van bestanden kan worden gecreëerd. Het programma wordt aangeprezen als

alternatief voor Dropbox, en heeft onder meer de volgende eigenschappen:

- Het is gratis, met open broncode en zonder enige beperking.
- Het beheer vindt plaats via een webpagina.
- De beheerder kan gebruikers rangschikken op naam of groep.
- Het versturen van een weblink is voldoende om iets te delen.
- De bestanden worden tijdens hun overdracht versleuteld.
- Er bestaat een client-applica-

tie waarmee lokaal opgeslagen bestanden onder Windows of Linux met de server kunnen worden gesynchroniseerd.

• ...

Dat ziet er prima uit en lijkt niet veel te verschillen van andere bekende gratis systemen. Maar dit programma biedt daarnaast een aantal voordelen:

- U weet exact waar de bestanden zijn opgeslagen.
- De opslagruimte is groot, zelfs veel groter dan bij bestaande oplossingen.
- U kunt het systeem stoppen wanneer u maar wilt.
- ...

## Vorbereiden van de Raspberry Pi

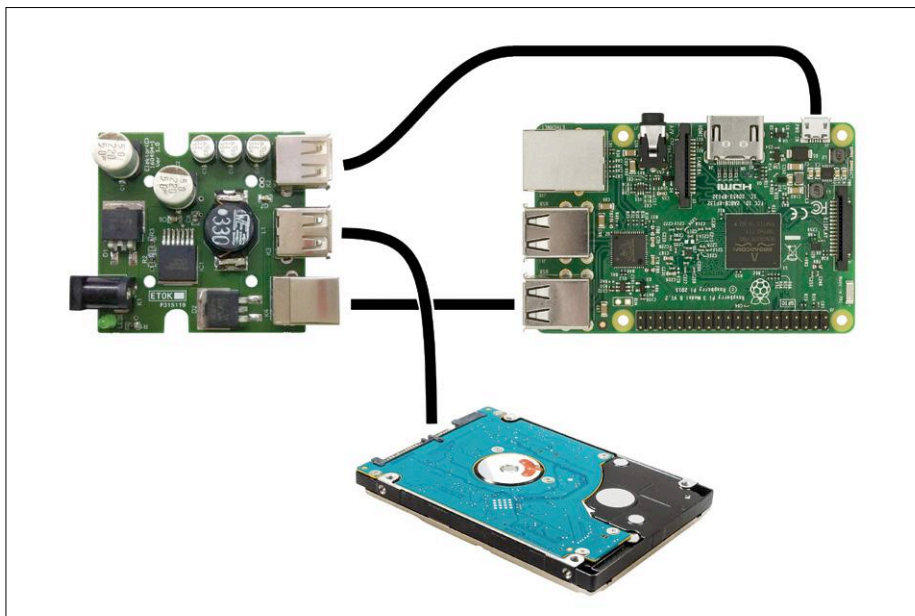
Om te beginnen moet u het Raspbian-image downloaden van de officiële website van de Raspberry Pi [1] en het vervolgens installeren. Voor dit artikel werd [2017-11-29-raspbian-stretch-lite](#) gebruikt. Het image van de 'lite'-versie is voldoende omdat we geen scherm met grafische interface zullen gebruiken. Volg de installatie-instructies van de officiële site of raadpleeg een van de vele tutorials die op het internet beschikbaar zijn.

Als het image eenmaal naar de microSD-kaart is geschreven (dat gaat heel eenvoudig met 'Etcher', <https://etcher.io/>), steek deze dan in de lezer van de Raspberry Pi, sluit een beeldscherm en een toetsenbord aan, en vervolgens de voeding. Meld u aan bij de Raspberry Pi. Gebruik hierbij de standaard login 'pi', en het standaard wachtwoord 'raspberrypi'. Start vervolgens de configuratie van het board door het volgende commando in te typen:

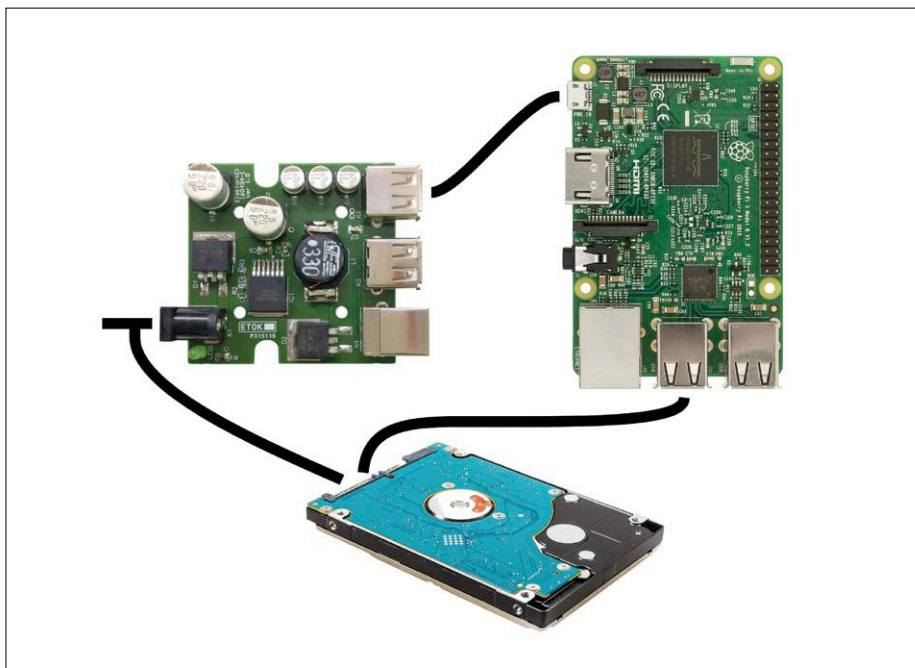
```
sudo raspi-config
```

Stel vanuit het configuratiemenu het toetsenbord in op uw eigen taal (*localisation*). Ik raad u aan om de SSH-service te activeren. Deze zal van pas komen bij het op afstand benaderen van de kaart. Maak van deze gelegenheid ook gebruik om voor alle zekerheid uw wachtwoord te wijzigen. Het wordt aanbevolen om een vast IP-adres aan de Raspberry Pi toe te wijzen:

```
sudo nano /etc/network/interfaces
```



Figuur 1. Zo sluit u een SATA harde schijf met uitsluitend USB-voeding aan.



Figuur 2. Een IDE harde schijf waarvan de USB-converter een eigen voeding heeft, sluit u aan zoals hier getoond.

Voeg de volgende regels toe:

```
auto eth0
iface eth0 inet static
address 192.168.yyy.xxx <=
gewenst IP-adres
netmask 255.255.255.0
gateway 192.168.yyy.zzz <= IP-
adres van uw router
```

Druk op Ctrl-O en vervolgens op Enter om het bestand op te slaan, en sluit de editor af met Ctrl-X. U kunt natuurlijk ook uw router zodanig configureren dat deze altijd hetzelfde IP-adres aan de Raspberry Pi toewijst.

### Configuratie van de harde schijf

We beginnen met het creëren van de map waaraan de schijf moet worden gekoppeld:

```
sudo mkdir /mnt/usb
```

Vervolgens wijzigen we de rechten voor deze map en koppelen we de schijf, die in ons geval sda1 wordt genoemd. Zijn bestandssysteem is ext4:

```
sudo chmod -R a+w /mnt/usb
sudo mount /dev/sda1 /mnt/usb/
```

Nu gaan we ervoor zorgen dat de externe harde schijf bij het opstarten van de Raspberry Pi automatisch wordt geïnstalleerd. Hiervoor moeten achterhalen wat de PARTUUID van de schijf is:

```
sudo blkid
```

Zoek uw schijf op in de lijst en noteer zijn PARTUUID. Open vervolgens het bestand fstab:

```
sudo nano /etc/fstab
```

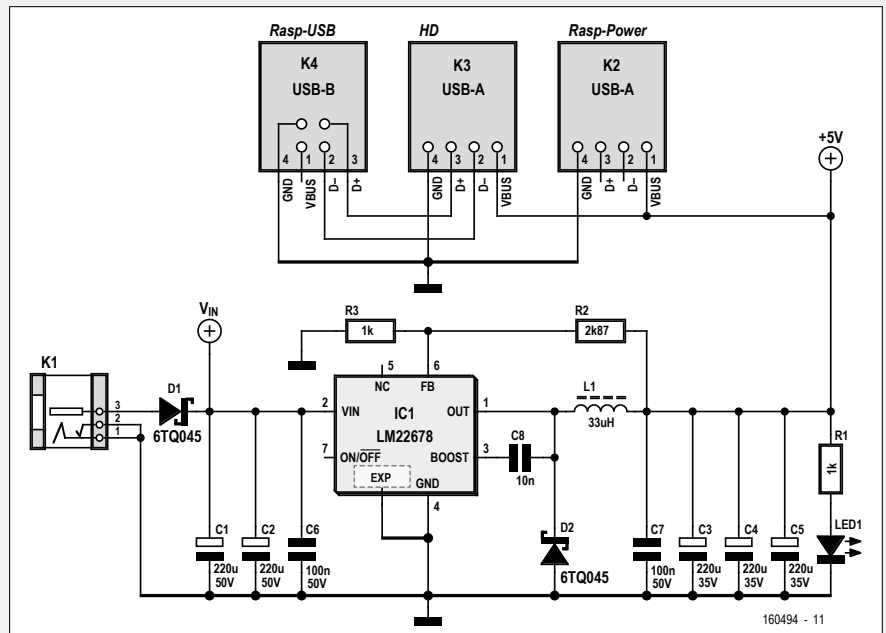
Voeg aan het einde van dit bestand de volgende regel toe:

```
PARTUUID=6f20736b-01 /mnt/usb ext4
defaults 0 2
```

Het hierboven gebruikte '6f20736b-01' geldt voor mijn eigen harde schijf, vervang deze waarde door de ID van uw harde schijf. Druk op Ctrl-O en vervolgens op Enter om het bestand op te slaan, en sluit de editor af met Ctrl-X. Pas op dat u geen typfouten maakt, want dat kan desastreuze gevolgen hebben, u moet dan het image opnieuw

## De voedingsprint

Het schema van de voeding is gebaseerd op de schakelende regelaar LM22678. Deze kan een stroom van maximaal 5 A leveren. Het stroomverbruik van de minst zuinige SATA harde schijven kan oplopen tot 2 A bij 5 V. Als we bedenken dat de nano-computer Raspberry Pi maximaal 1 A bij 5 V verbruikt, zal dit voor deze regelaar geen problemen opleveren.



Ik heb besloten om voor de voeding van de cloud een oud voedingsblok van een laptop te gebruiken. Deze blokken leveren over het algemeen een spanning van ongeveer 19 V, en zijn in staat om een stroom van 5 A te leveren. Dit is voldoende voor deze toepassing. De regelaar ondersteunt ingangsspanningen tot 42 V, dat past ook prima.

Om compatibel te zijn met zoveel mogelijk voedingsblokken is het voedingsboard uitgerust met een female voedingsconnector van 2,1 mm (barrel jack). Bij sommige blokken zal het misschien nodig zijn om de connector af te knippen en te vervangen door een male voedingsconnector van 2,1 mm. Let er op dat u een model kiest dat een stroom van 5 A verdraagt.

Diode D1 beschermt de schakeling tegen ompolen.

Regelaar IC1 is wat betreft zijn uitgangsspanning in twee versies verkrijgbaar: instelbaar of 5 V vast. Ik heb de instelbare versie gebruikt omdat ik deze nog had liggen :-). De uitgangsspanning wordt bepaald door de verhouding tussen de waarden van de weerstanden R2 en R3:

$$V_{out} = 1,285 \times (R2/R3 + 1)$$

Met R2 = 2,87 kΩ en R1 = 1 kΩ, krijgen we een waarde voor V<sub>out</sub> van 4,97 V. Bij een regelaar met vaste uitgangsspanning moet R3 niet worden gemonteerd en is R2 = 0 Ω (of een draadbrug).

De twee grote elektrolytische condensatoren aan de ingang van de schakeling dienen om de stroompieken bij het opstarten van de harde schijf op te vangen.



```

pi@raspberrypi: ~
pi@raspberrypi:~ $ sudo mysql -u root
Welcome to the MariaDB monitor. Commands end with ; or \g.
Your MariaDB connection id is 5
Server version: 10.1.23-MariaDB-9+deb9u1 Raspbian 9.0

Copyright (c) 2000, 2017, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

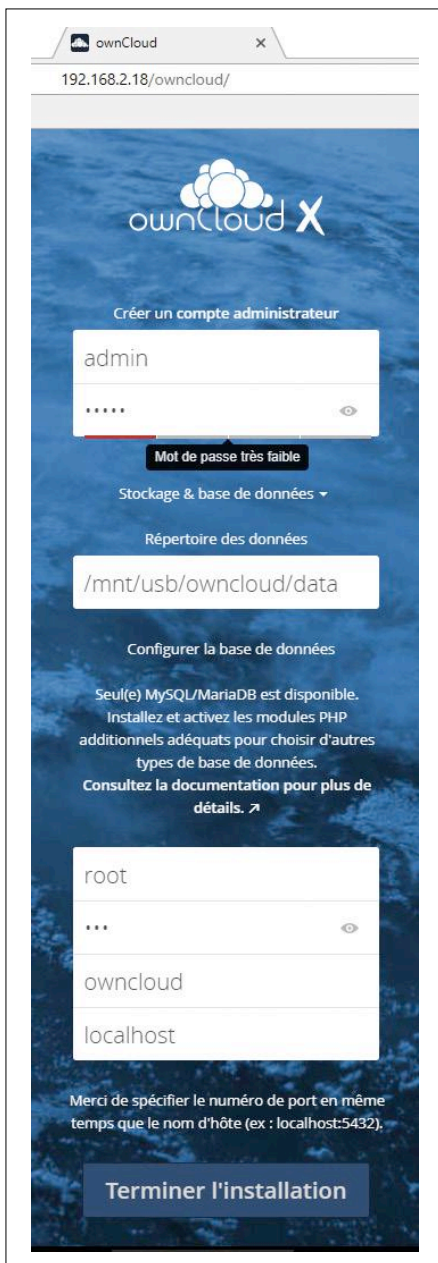
MariaDB [(none)]> create database owncloud;
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

MariaDB [(none)]> grant all privileges on owncloud.* to root@localhost identified by 'user_passwd' ;
Query OK, 0 rows affected (0.00 sec)

MariaDB [(none)]> exit
Bye
pi@raspberrypi:~ $

```

Figuur 3. Instelling van de database voor gebruiker 'root' met wachtwoord 'user\_passwd'.



op de SD-kaart installeren enzovoort. Herstart de Raspberry Pi met het commando:

```
sudo reboot
```

Als alles goed is gegaan, kunt u (na verbinding te hebben gemaakt) de inhoud van /mnt/usb lezen met het commando:

```
ls /mnt/usb
```

### Installatie van ownCloud

Voor de applicatie ownCloud is PHP versie 5.6 (of later) nodig evenals de webserver Apache2. We installeren dus Apache2, MySQL, PHP 7.0 en een reeks aanvullende modules:

```
sudo -i
```

Hiermee worden we 'Super User' waardoor we niet meer ieder commando hoeven te beginnen met 'sudo'.

```
apt-get update
```

De onderstaande regels vormen één enkel commando:

```
apt install -y apache2 mariadb-server libapache2-mod-php7.0 \
php7.0-gd php7.0-json php7.0-mysql php7.0-curl \
```

Figuur 4. Installatie gelukt. U hebt vanaf dit moment toegang tot uw cloud.

```
php7.0-intl php7.0-mcrypt php-imagick \
php7.0-zip php7.0-xml
php7.0-mbstring
```

Vervolgens downloaden we het pakket ownCloud, pakken het uit en kopiëren het naar onze map. Let op, het versienummer van het pakket kan afwijken van hetgeen hier is gebruikt (10.0.4), pas het indien nodig aan:

```
wget https://download.owncloud.org/community/owncloud-10.0.4.tar.bz2
tar -xjf owncloud-10.0.4.tar.bz2
sudo cp -r owncloud /mnt/usb
```

### Een database aanmaken

Om ownCloud te kunnen laten werken moet er een database worden aangemaakt:

```
mysql -u root
create database owncloud;
grant all privileges on owncloud.* to <user>@localhost identified by '<user_passwd>';
exit;
```

De naam <user> is de naam die we geven aan de gebruiker van de database en <user\_passwd> is het bijbehorende wachtwoord (figuur 3).

### Configureren van de webserver

Apache2 heeft enkele gegevens nodig over de locatie van ownCloud. We zetten deze informatie in het configuratiebestand

```
nano /etc/apache2/conf-available/owncloud.conf
```

dat we vullen met de volgende inhoud:

```
Alias /owncloud "/mnt/usb/owncloud/"
<Directory /mnt/usb/owncloud/>
Options +FollowSymlinks
AllowOverride All
<IfModule mod_dav.c>
Dav off
</IfModule>
<IfVersion < 2.3>
order allow,deny
allow from all
</IfVersion>
<IfVersion >= 2.3>
Require all granted
```

```
</IfVersion>
SetEnv HOME /mnt/usb/owncloud
SetEnv HTTP_HOME /mnt/usb/owncloud
</Directory>
```

Druk op Ctrl-O en vervolgens op Enter om het bestand op te slaan, en sluit de editor af met Ctrl-X.

We sluiten de configuratie af met nog een paar aanvullende commando's:

```
ln -s /etc/apache2/conf-available/
owncloud.conf /etc/apache2/
conf-enabled/owncloud.conf
a2enmod rewrite
a2enmod headers
service apache2 restart
chmod a+w /mnt/usb/owncloud/config
```

### De eerste verbinding met ownCloud

Om de webserver van de Raspberry Pi toegang te geven tot de bestanden in de cloud, moeten de rechten worden aangepast. De gebruiker en de standaardgroep voor de webserver van de Raspberry Pi zijn 'www-data'. Voer nu de volgende

commando's in:

```
chown www-data:www-data -R /mnt/
usb/owncloud
chmod 770 -R /mnt/usb/owncloud
```

Ga met de browser van uw keuze naar het volgende adres (vervang hierbij 'yyy.xxx' door de voor uw netwerk geldende waarden):

```
http://192.168.yyy.xxx/owncloud
```

Nu zal u worden gevraagd om een administrator-account aan te maken voor het beheer van de toepassing (**figuur 4**). Voer het pad in naar de locatie waar de bestanden zullen worden opgeslagen (in ons voorbeeld: `/mnt/usb/owncloud/data`) en selecteer vervolgens het type van de geïnstalleerde database (mysql). Voer nu de door u gekozen gebruikersnaam in (<user>), het wachtwoord (<user\_passwd>), de naam van de database (in ons geval 'ownCloud') en tot slot 'localhost' als adres voor de database. Klaar! U kunt vanaf nu uw eigen cloud gebruiken (**figuur 5**), hetzij via uw

internetbrowser, hetzij via een ownCloud-client die u van de ownCloud-site kunt downloaden.

### Verbinding maken via HTTPS

Als u de eerste keer verbinding maakt, zal ownCloud aanbevelen om een beveiligde verbinding via HTTPS te maken. Om uw systeem hiervoor te configureren voert u de volgende commando's in:

```
sudo -i
a2enmod ssl
service apache2 restart
a2ensite default-ssl.conf
service apache2 restart

De SSL-module heeft sleutels nodig. We maken deze aan:

cd /etc/apache2
mkdir cert0C
cd cert0C
openssl genrsa -out owncloud.key
1024
openssl req -new -key owncloud.key
-out owncloud.csr
```

## Wereldwijde toegang

Om vanaf de computer op uw werk of elke willekeurige andere plaats ter wereld toegang te krijgen tot uw cloud, dient u in het ideale geval de beschikking te hebben over een dynamisch DNS-adres. Hiervoor raad ik u de 'NO-IP'-service [3] aan. Ga naar de website en registreer de gewenste domeinnaam. Het is gratis, en de enige verplichting die u hebt is om iedere maand desgevraagd aan te geven of u uw account wilt blijven gebruiken. Wat de installatie betreft, deze is vrij eenvoudig. Voer hiervoor op uw Raspberry Pi in een werkmapp naar keuze de volgende commando's uit:

```
sudo wget https://www.noip.com/client/linux/noip-
duc-linux.tar.gz
tar xf noip-duc-linux.tar.gz
```

Controleer de versie van noip (in ons geval 2.1.9-1) en pas zo nodig het volgende commando aan:

```
cd noip-2.1.9-1
```

Zorg voordat u de installatie start dat u uw login en wachtwoord voor NO-IP bij de hand hebt:

```
sudo make install
```

Nu hebben we nog een script nodig om de service bij het opstarten te activeren. Download het script 'noip' van [4] en kopieer het naar `/etc/init.d/`. Om ervoor te zorgen dat de 'noip'-service bij het opstarten actief wordt,

moet u de volgende regels intoetsen:

```
sudo chmod 755 /etc/init.d/noip
sudo update-rc.d noip defaults
sudo service noip configure
```

Start de service handmatig:

```
sudo service noip start
```

U kunt de status van de service controleren met het commando:

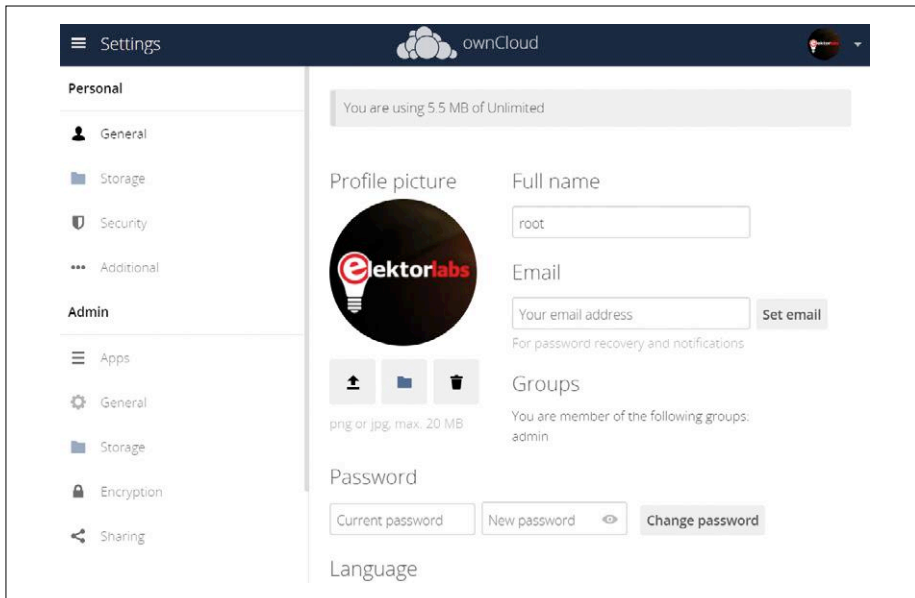
```
sudo service noip status
```

Om externe toegang tot ownCloud te krijgen, moet u tot slot in het bestand `/mnt/usb/owncloud/config/config.php` de volgende parameter wijzigen:

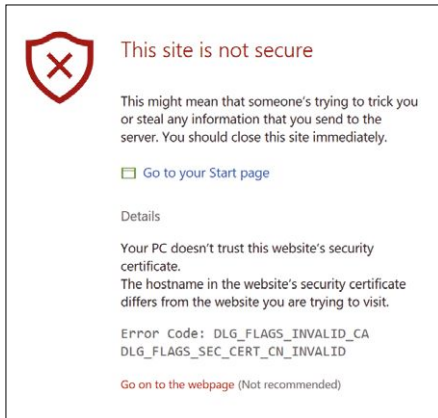
```
'trusted_domains' =>
array (
0 => '192.168.yyy.xxx',
1 => 'votre_nom_domaine',
),
```

Op uw lokale netwerk moet u het interne adres (bijvoorbeeld `https://192.168.yyy.xxx/owncloud`) gebruiken om de synchronisatie-client in te stellen.

Nadat u uw router hebt geconfigureerd (zie [3]) kunt u uw bestanden met de hele wereld delen!



Figuur 5. We zijn er, dit is het dashboard van de cloud. Vanaf nu beheert u uw eigen wolk.



Figuur 6. Geen paniek! U hebt toch zeker vertrouwen in uzelf en uw eigen systemen?

Bij het invullen van het formulier moet u enkele vragen beantwoorden. Noteer uw antwoorden ergens, voor het geval dat... (of accepteer de standaardwaarden).

Voer nu het volgende in:

```
openssl x509 -req -days 365 -in
owncloud.csr -signkey owncloud.
key -out owncloud.crt
```

Kopieer de sleutels:


```
cp owncloud.crt /etc/ssl/certs
cp owncloud.key /etc/ssl/private
```

Er is een tweede configuratiebestand nodig voor ownCloud:

```
nano /etc/apache2/sites-available/
owncloud.conf
```

met als inhoud:

```
<VirtualHost *:443>
DocumentRoot /var/www
SSLEngine On
SSLOptions +FakeBasicAuth
+ExportCertData +StrictRequire
SSLCertificateFile /etc/ssl/certs/
owncloud.crt
SSLCertificateKeyFile /etc/ssl/
private/owncloud.key
</VirtualHost>
```



## ONDERDELENLIJST

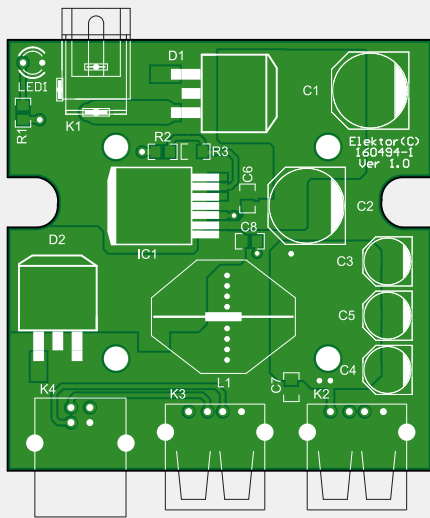
**Weerstanden (0805, 0,1 W)**  
R1,R3 = 1 k, 1%  
R2 = 2,87 k, 1%

**Condensatoren**  
C1,C2 = 220 µ, 50 V, CMS, Ø = 10 mm  
C3,C4,C5 = 22 µ, 35 V, CMS, Ø = 5 mm  
C6,C7 = 100 n, 0805  
C8 = 10 n, 0805

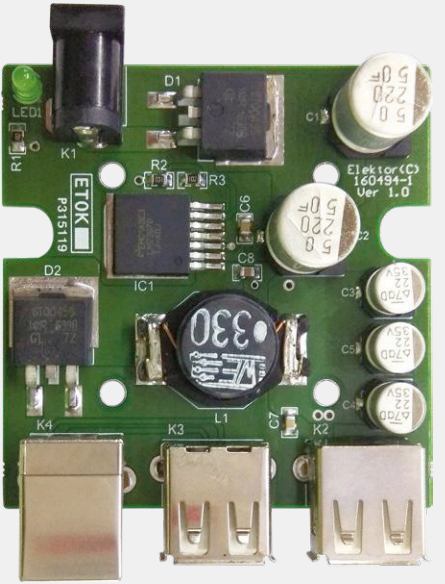
**Spoel**  
L1 = 33 µH, 3,4 A, 70 mΩ (Würth 74457133)

**Halfgeleiders**  
D1,D2 = VS-6TQ045SPBF  
IC1 = LM22678TJ  
LED1 = LED, groen, 3 mm

**Diversen**  
K1 = voedingsconnector, 5 A, 2,1 mm



K2,K3 = USB-connector, type A  
K4 = USB-connector, type B  
Behuizing: Hammond 1593KBK



Print 160494-1



```
a2ensite owncloud.conf
apachectl configtest
service apache2 restart
```

U kunt nu op het adres <https://192.168.yyy.xxx/owncloud> (met een 's' achter http) verbinding maken met uw cloud. Uw browser zal u waarschuwen voor een potentieel gevaar (**figuur 6**) omdat de handtekening die we hebben gemaakt niet is gecertificeerd. U kunt deze fout negeren (of een uitzondering toevoegen) en doorgaan. Dit zal geen nadelige invloed hebben op de werking.

## En nu?

Nu bent u in het bezit van uw eigen cloud, met flinke afmetingen, waarbij u alles in eigen hand hebt. U kunt uw machine op ieder gewenst moment starten of stoppen, een automatische backup van uw cloud activeren, enzovoort. U bent de baas, u stuurt deze wolk. ◀

(160494)

Druk op Ctrl-O en vervolgens op Enter om het bestand op te slaan, en sluit de editor af met Ctrl-X. Activeer nu de nieuwe configuratie en herstart de webserver:

## Weblinks

- [1] Raspbian: [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)
- [2] ownCloud: [owncloud.org](http://owncloud.org)
- [3] Service NO-IP: [www.noip.com](http://www.noip.com)
- [4] Projectpagina van dit artikel: [www.elektormagazine.nl/160494](http://www.elektormagazine.nl/160494)



## IN DE STORE

→ 160494-1

'kale' voedingsprint

Advertentie

## Gratis mini-MagPi

Elektor gaat in samenwerking met de Raspberry Pi Foundation het populaire magazine **MagPi** in het Nederlands (en Frans) uitgeven. MagPi gaat op een praktische manier in op de nieuwste ontwikkelingen en trends rondom de Raspberry Pi nano-computer en de digitale wereld. De eerste editie is vanaf 16 maart 2018 verkrijgbaar in de kiosk. Elektor GOLD-leden ontvangen bij hun maart/april-editie van Elektor alvast een gratis voorproefje in de vorm van een mini-MagPi.

Ook interesse in deze mini-MagPi? Download uw gratis exemplaar vandaag nog!

[www.elektormagazine.nl/mini-magpi](http://www.elektormagazine.nl/mini-magpi)





# Tips en trucs van lezers voor lezers

Weer zo'n slimme oplossing die het elektronicaleven gemakkelijker maakt.

## Mod van een temperatuurlogger

**Dr. Thomas Scherer** (Duitsland)

*Wat de betrouwbaarste auto is, zal voor zowel leken als experts nog wel duizenden jaren een strijdpunt blijven. Toyota staat op het vlak van betrouwbaarheid bekend als de Japanse Mercedes. Maar of dat terecht is?*

*Op een ochtend wilde mijn nog geen vijf jaar oude Toyota Prius (figuur 1) niet starten: het indrukken van de startknop had geen enkel gevolg. In plaats daarvan gingen alle nog brandende lampjes uit en gloeiden nog slechts een beetje. Een elektronicus heeft natuurlijk altijd wel ergens een stevige netvoeding staan waarmee in een paar minuten een accu voldoende voor één keer starten kan worden opgepept. Ik dus ook.*

*Maar nu komt het. Zelfs een hybride auto zoals een Prius heeft verbazingwekkend genoeg ook nog een normale 12-V-accu aan boord. Deze dient voor het voeden van de verlichting en de boor-elektronica. Ondanks de HV-accu met een energie-inhoud van 1,3 kWh werkt zonder de 12-V-accu niks, zoals ik aan den lijve ondervond. Maar deze accu zit achterin in een hoekje van de kofferbak. En zonder spanning gaat de vergrendeling van de achterklep niet open. Daar is over nagedacht...*

### Oplossingen?

*In plaats van een forse woedeaanval tot ontwikkeling te laten komen, ben ik aan het googelen geslagen. Oplossing: in het zekeringenkastje in het motorcompartiment vóór zit een koperstrip met een 'rechtstreeks lijntje' naar de pluspool van de accu. Heeft Toyota uiteindelijk toch nog een klein beetje nagedacht. Daarop heb ik een kleine 12-V AGM-accu van 4,5 Ah aangesloten en daarmee was de motor gelukkig weer te starten. Omdat de startenergie van de HV-accu komt hoeft de kleine accu geen startstroom van honderden ampères te leveren. Er is hooguit 15 A nodig om de remdruk op te bouwen en een paar ampère voor de stuelelektronica van de hybride, totdat die geleverd worden door een aan de HV-accu gekoppelde schakelende voeding, die tevens de 12-V-accu oplaadt. Zo, de auto loopt weer, dus alles in orde? Nou, voorzichtigheidshalve neem ik toch maar die kleine accu en een paar klemmen mee... Maar niet alles was in orde, want een week later gaf de Prius er weer de brui aan. Dat veroorzaakte de nodige zorgrimpels op mijn voorhoofd, want de 12-V-accu wordt in een Prius zeer zorgvuldig behandeld, is ook nog eens van het AGM-type en zou dus*

*eigenlijk een extreem lange levensduur moeten hebben. Twaalf jaar is geen zeldzaamheid, tegen vijf à zeven jaar voor een normale startaccu. Had ik misschien een deur niet goed gesloten, is er een stiekeme verbruiker die stroom 'steelt', of is de Prius toch niet zo best als zijn reputatie? Hoe dan ook, ik heb een nieuwe accu (van Varta) besteld en ingebouwd. Hoewel dat eigenlijk niet zou mogen, was de oude definitief ter ziele.*

*Maar nog geen maand later was ook de nieuwe accu leeg. En zeer zeker niet defect. Wat is hier aan de hand?*

### Diagnose

*Om dit merkwaardige probleem tot op de bodem uit te zoeken, volstaat het niet om gewoon even bij uitgeschakelde auto de stroom uit de accu te meten. Dat heb ik natuurlijk wel eerst gedaan, maar mijn stroomtang — die zelfs een 20-mA-bereik heeft — liet zelfs geen 1 mA zien, dus zeker geen te hoge lekstroom.*



*Om ook sporadisch optredende verschijnselen te kunnen opsporen, moet het geheel over een veel langere periode worden gemonitord. Daarvoor is een datalogger voor spanning noodzakelijk. Maar naspeuringen op eBay leerden dat die veel te duur zijn. Vreemd genoeg zijn er zelfs in het Verre Oosten geen goedkope exemplaren verkrijgbaar. Kennelijk is wie spanning wil loggen een professional, en professionals willen kwaliteit. Ik vond echter een uitgave van vele tientallen euro's voor eenmalig gebruik geen goed idee. De enige goedkope loggers die ik kon vinden waren temperatuur-loggers. 'Hmm, zijn die niet om te bouwen?', dacht ik. Dus snel een 'Elitech digitale RC-5 USB waterdichte temperatuur-datalogger' (figuur 2) voor minder dan 10 € besteld. Het ding wordt met een*



knoopcel gevoed, heeft een geheugen voor 2<sup>15</sup> metingen met instelbaar interval, een LCD en een USB-poort om de data te kunnen uitlesen. Daar zou het mee moeten lukken.

### Modificatie

Toen de temperatuurlogger aankwam, heb ik hem uitgeprobeerd (hij werkte) en daarna gelijk opengeschroefd.

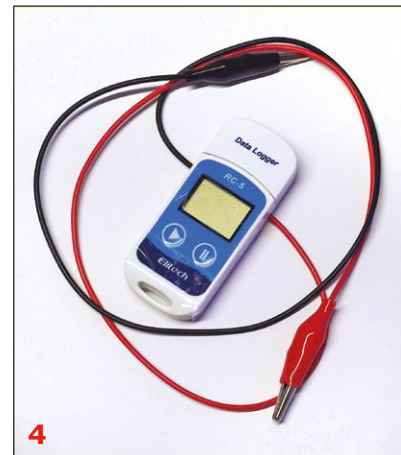
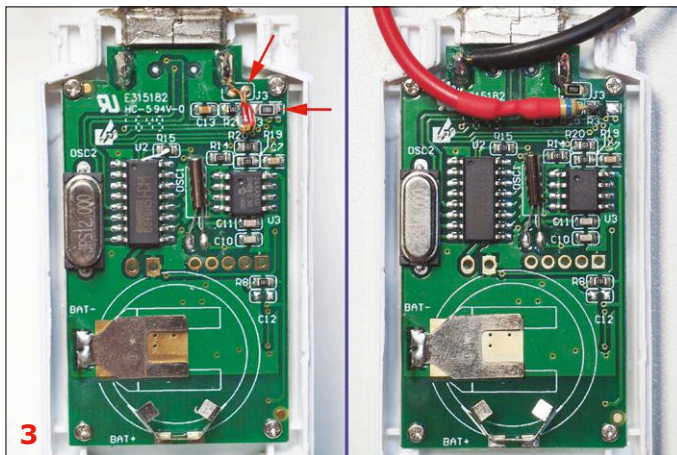
**Figuur 3** toont de situatie voor en na ombouw. In de linker foto zien we rechtsboven de temperatuursensor: het kleine rode glaspertje. Deze wordt via de 100-k-weerstand rechts daarvan aan de voedingsspanning van 3 V gelegd. Dat is dus eenvoudig op te lossen: sensor en weerstand eruit, de weerstand op de plaats van de sensor en op zijn oude plek komt een voorschakelweerstand om het meetbereik aan te passen (rechter foto).

Volgens de specificaties heeft de logger een bereik van -30 tot +80 °C. Door uitproberen kwam ik met een voorschakelweerstand van 680 kΩ uit op een 'temperatuur' van 87,1° bij 2,0 V en van -28,0° bij 23,0 V. Voor een 12-V-accu is dat geschikt en het oplossend vermogen van 18 mV is zonder meer voldoende. Ook de meetweerstand is met 780 kΩ hoogohmig genoeg om de accu niet merkbaar door de meting te belasten. Nu alleen nog twee gaatjes in de behuizing boren om de draden door te voeren en klaar is Kees. In **figuur 4** is het resultaat te zien, waarvoor ik twee kabeltjes met krokodilleklem heb opgeofferd.

### Meting

Het nu tot spanningslogger omgebouwde apparaat heb ik vervolgens op de vers opgeladen accu aangesloten, in een plastic zak tegen eventuele vochtigheid en met een meetinterval van eenmaal per minuut, zodat ik 22 dagen lang de spanning kon loggen. Maar na vijf dagen was ik zo nieuwsgierig, dat ik de logger 'bevrijd' heb en hem heb uitgelezen. De meegeleverde software (voor Windows-PC's) kan de meetwaarden onder andere als Excel-bestand exporteren en bovendien het verloop in een grafiek afbeelden. **Figuur 5** toont het spanningsverloop als pseudo-temperatuurcurve.

Bij de interpretatie moeten we een paar dingen in de gaten houden. Uit het hiervoor vermelde meetbereik blijkt, dat temperatuur en spanning omgekeerd evenredig zijn: dalende temperatuur komt overeen met stijgende spanning. Bovendien is de spanning van de voormalige temperatuursensor (een NTC) niet lineair. Deze niet-lineariteit wordt door de firmware van de microcontroller gecorrigeerd. Als gevolg hiervan is de als spanning geïnterpreteerde curve niet alleen 'verkeerd-om', maar ook behoorlijk niet-lineair.

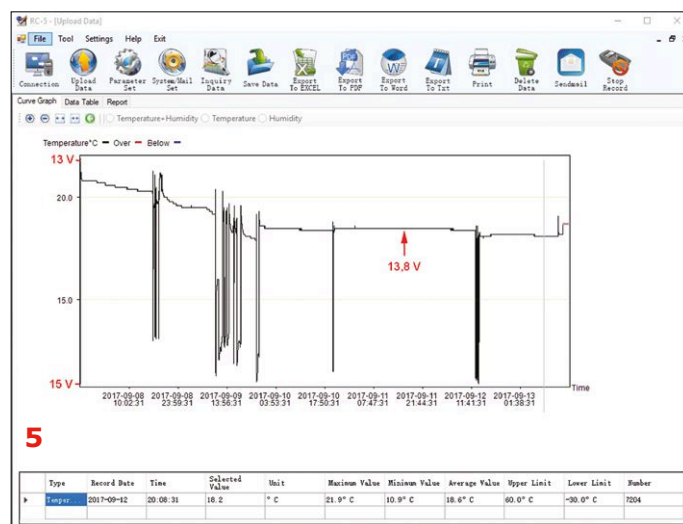


Om de 'ware' spanningswaarden te verkrijgen, heb ik gewoon in een tabel achter de spanningswaarden in 1-V-stappen de bijbehorende temperatuurwaarde genoteerd. Daarmee kunnen we, met een rekenmachine of automatisch met Excel, door interpolatie ook redelijk nauwkeurige tussenliggende spanningswaarden berekenen.

### Conclusie

In figuur 5 is 10,9 °C de laagste waarde, wat overeenkomt met ca. 15 V. De maximale waarde van 21,9 °C komt overeen met bijna 13 V. Het horizontale deel van de curve ligt iets boven de 18 °C ≈ 13,8 V. Behalve de af en toe optredende spanningspieken, die bedenkelijk zijn als de logger zelf geen slechte contacten heeft, is er weinig opwindends te zien. In elk geval niet de spanningsafname die ik verwacht had. Dus ik moet geduld oefenen en langer loggen. Maar misschien knijpt mijn Prius 'm nu, omdat hij weet dat ik elektronicus ben en met een spanningslogger gewapend... In overeenstemming met de Wet van Murphy heb ik tot nog toe geen last meer gehad van een lege accu! ◀

(160291)



Hebt u zelf een slimme oplossing voor iets dat echt onhandig is? Gebruikt u gereedschap of een component op een ongewone manier? Hebt u een idee hoe een probleem gemakkelijker of beter aangepakt kan worden? Laat het ons weten — voor elke tip die wij van u publiceren ontvangt u 40 euro!



# Draadloze waterniveaumeter

## voor een kostbaar goed

Wist u dat ongeveer 71% van de oppervlakte van de aarde bedekt is met water? Bijna 97,5% van dit water is zout, en dat zit voornamelijk in de zeeën en oceanen. De resterende 2,5% is zoet water, waarvan het meeste bevroren is in gletsjers, poolkappen, permafrost, grondijs en sneeuw. Ook is er veel zoet grondwater, en er zit vocht in de aarde en in de atmosfeer. Ook levende organismen slaan water op. Minder dan 0,01% van het water op aarde is beschikbaar als zoet oppervlaktewater in meren, moerassen en rivieren.

**PROJECT-INFO**

- 
Arduino Water  
Sonar Draadloos  
433 MHz ofequivalent
- 
beginners  
gevorderden  
experts
- 
Ca. 4 uur
- 
Soldeerbout,  
computer met Arduino-IDE,  
USB/serieel-converter
- 
Ca. € 30

### Somnath Bera (India)

Drinkbaar water is een kostbaar goed en vanwege de steeds maar groeiende wereldbevolking zal het in de komen jaren alleen maar kostbaarder worden. In veel grote steden in het zuiden van Azië (21% van de wereldbevolking leeft in de zogenaamde SAARC-landen) is het water in bepaalde perioden al erg schaars. Grote steden in India, zoals Chennai, Mumbai en Nieuw Delhi, zijn voor hun jaarlijkse watervoorziening afhankelijk van de moesson. Ze hebben al snel te kampen met ernstige tekorten als het regenseizoen korter is dan gebruikelijk. Goed, efficiënt watermanagement is daarom essentieel in die gebieden.

Ik wil niet beweren dat ik een specialist ben in watermanagement, maar ik

geloof dat ik een paar probleemgebieden heb ontdekt waar met goedkope technologie en een beetje vindingrijkheid verbeteringen mogelijk zijn. Waterniveau-indicatoren geven bijvoorbeeld vaak problemen. Vaak zijn het mechanische contrapties met kabels en wielen die gemakkelijk vastlopen. De foute meetresultaten die daarvan het gevolg zijn, kunnen het managementsysteem van de watertanks in de war brengen. Daarom presenteer ik in dit artikel een contactloze, draadloze waterniveau-indicator die werkt met sonar en in een weekend voor minder dan € 20 kan worden gebouwd. Met twee aparte voedingseenheden zal de prijs van een compleet systeem dat bestaat uit een waterniveau-zender en bijbehorende

-ontvanger minder dan € 30 zijn. Het lijkt misschien niet te geloven, maar het is echt waar.

De hier gepresenteerde waterniveau-indicator kan niveaus tot maximaal vier meter controleren met een nauwkeurigheid die beter is dan 5 mm, en dat zonder bedrading tussen de tank en de display-unit in uw woonkamer.

De indicator is gebaseerd op de populaire ultrasonische afstandsmeter SR04, die afstanden van 0,20 m tot 5 m kan meten. De nauwkeurigheid bedraagt 3 mm en de openingshoek is 15°. Maar omdat wij niveaus meten in hele centimeters is onze nauwkeurigheid slechts 5 mm. Elke seconde worden er acht metingen gedaan waarvan het gemiddelde wordt berekend, zodat een niveauverandering van 1 cm goed kan worden gedetecteerd.

Naast de ultrasonische afstandsmeetmodule zijn in de zender een Arduino (Pro) Mini-compatibele kaart (een Arduino Uno is ook geschikt, maar is groter en kost meer) en een 433-MHz ISM-zendmodule verwerkt. De ontvanger bestaat uit een Arduino (Pro) Mini-compatibele kaart (ook hier kan een Arduino Uno worden ingezet), een 433-MHz ontvangstmodule en een standaard alfanumeriek LC-display. Al deze onderdelen zijn online voor weinig geld te vinden. Samen met twee antennes en twee 5 V/2 A-voedingsschakelingen betaalde ik ongeveer € 22, inclusief verzendkosten. Dan blijft er ruim € 8 over voor de andere (discrete) componenten en een paar stukjes experimenteerprint.

### Het werkingsprincipe

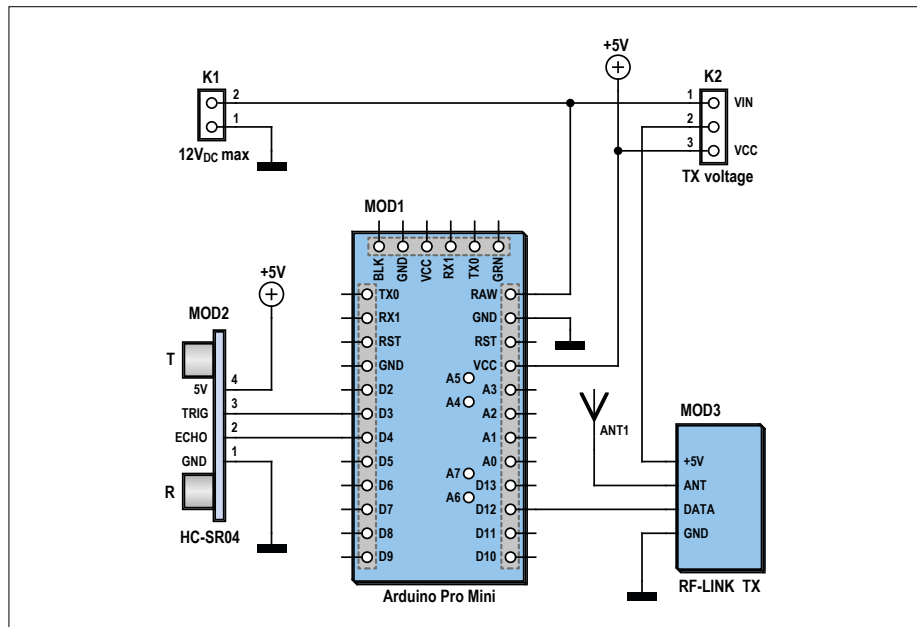
De waterniveausensor is opgebouwd rond het Arduino-platform met een ultrasonische SR04-sensor en een 433-MHz-zendmodule uitgerust met een spiraalantenne voor lange afstanden (**figuur 1**).

De sensor moet op een strategische plek van de tank worden gemonteerd, zodat hij altijd het gereflecteerde signaal van het wateroppervlak kan ontvangen. De beste plek is in het midden van de tank voor ronde tanks of op het snijpunt van de diagonalen voor rechthoekige tanks. De 433-MHz-band maakt deel uit van het open ISM-spectrum waar iedereen mag zenden, zolang de signaalsterkte onder een bepaald niveau blijft

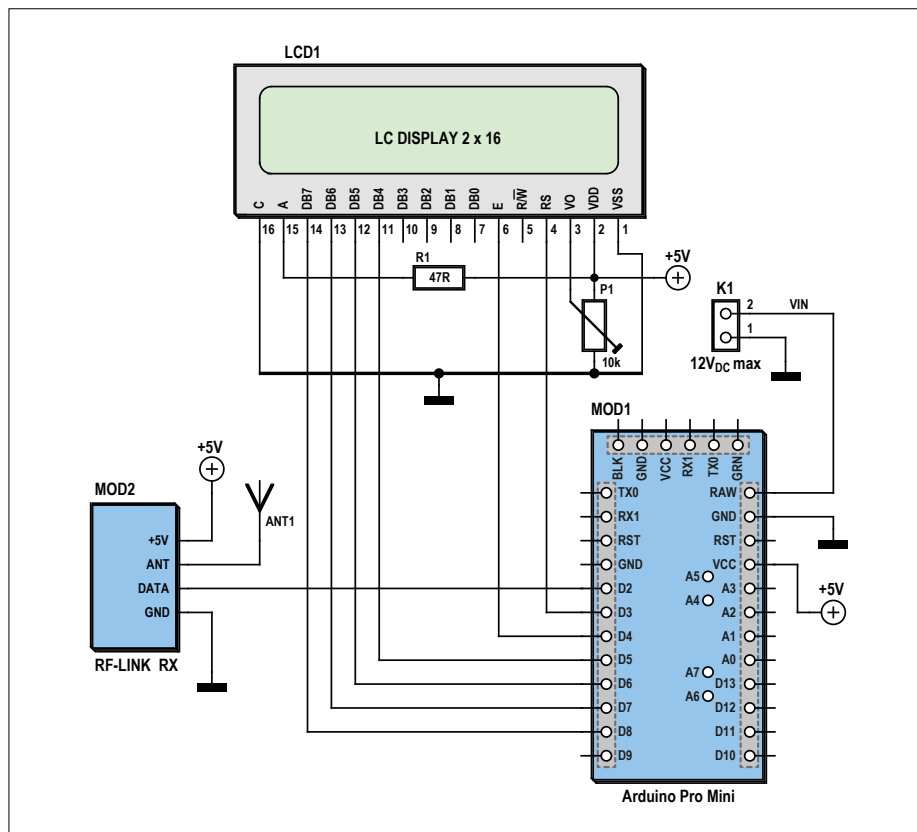
en er gewerkt wordt met type-goedgekeurde apparatuur. Let erop dat de toegewezen 433-MHz ISM-frequenties variëren van land tot land, zodat u uw lokale equivalent moet gebruiken. Er zijn geen voorgeschreven protocollen

## Eigenschappen

- Contactloze meting
- Draadloze verbinding
- Lage kosten
- Alleen goed verkrijgbare onderdelen



Figuur 1: Het sensorgedeelte van de waterniveaumeter.



Figuur 2: De weergave-eenheid van de waterniveaumeter: een Arduino, een ontvangstmodule en een displaymodule.



Figuur 3: Badmintonrackets zijn heel handig om snel een testsituatie op te bouwen.

zoals bij WiFi of Bluetooth; de gebruiker moet zelf een geschikt communicatieprotocol bedenken voor zijn/haar toepassing. Daarom wordt er hier, om onderscheid te maken tussen het gewenste signaal en andere signalen, een speciaal codewoord verzonden bij elke waterniveaumeting. Als een signaal wordt ontvangen, probeert de ontvanger het codewoord te vinden

waarna dit wordt vergeleken met een bekende waarde. Als ze overeenkomen, geeft hij het ontvangen waterniveau weer op zijn LCD (figuur 2). Omdat er geen continue verbinding is tussen de zender en de ontvanger, kan die laatste niet weten of de zender is gestopt met zenden, bijvoorbeeld omdat zijn voeding is uitgevallen. Om dat probleem te omzeilen wordt er een tijdstempel (voortdurend van 0 tot 59 seconden tellend) meegezonden in de berichten. Die waarde wordt rechts op het display weergegeven. Als het tijdstempel niet verandert is dat een teken dat er met het binnenkomende signaal iets mis is. De LED die is verbonden met pin 13 van de Arduino zal ook stoppen met knipperen. Met de kleine spelantennes die ik heb gebruikt, en een voedingsspanning van 5 V, kan de zender het signaal gemakkelijk overdragen over een afstand tot zeker 400 meter. Om het bereik te vergroten kan de  $V_{CC}$ -pen van de zendunit worden verbonden met 12 V, want de meeste van deze FSK-zenders zijn geschikt voor een voedingsspanning van 4...12 V.

### De software

De software voor dit project bestaat uit twee Arduino-sketches, één voor de zender en één voor de ontvanger. Ze maken allebei uitgebreid gebruik van open source-bibliotheken om hun werk te doen. De sketches zelf zijn daardoor mooi eenvoudig gebleven.

### De sketch voor de zender

De zender gebruikt de NewPing-bibliotheek om de ultrasonische sensor aan te sturen. Die bibliotheek doet al het zware werk en geeft als output een gemeten afstand in centimeters. Als we een sonar-object hebben gemaakt, hoeven we alleen nog een aanroep van `ping_cm` uit te voeren. In de sketch wordt de functie acht keer na elkaar aangeroepen met een tussentijd van 100 milliseconden. Uit die metingen wordt dan een gemiddelde berekend. De berekende waarde wordt in een buffer gezet, samen met het tijdstempel en de speciale code (transmitter ID). De VirtualWire-bibliotheek zorgt voor het verzenden van de data met de 433-MHz FSK-zendmodule, die is aangesloten op pin 12 van de Arduino. Na het configureren van de bibliotheek is het verzenden van de data gewoon een kwestie van het aanroepen van `vw_send` en wachten tot de overdracht klaar is met `vw_wait_tx`. Die procedure wordt elke seconde herhaald.

### De sketch voor de ontvanger

Aan de ontvangende kant gaat het er net zo eenvoudig aan toe. Ook hier wordt de VirtualWire-bibliotheek gebruikt, maar nu in ontvangstmodus. De bibliotheek is geconfigureerd voor luisteren naar een ontvangstmodule op pin 2 van de Arduino. De functie `vw_rx_start` moet worden aangeroepen om de bibliotheek en de module in ontvangstmodus te zetten. Als hij eenmaal in die modus is, is het aanroepen van `vw_get_message` voldoende. Als er data beschikbaar is, wordt die gelezen en naar de ontvangstbuffer gekopieerd; als er geen data is, doet hij niets. Als er een bericht is ontvangen, wordt dit gecontroleerd:

- Bestaat het bericht uit het juiste aantal bytes?
- Bevat het bericht het eerdergenoemde codewoord?
- Is de waarde gelijk aan of groter dan nul?

Als aan al deze criteria is voldaan, wordt de waarde weergegeven op het LCD. Het tijdstempel uit het bericht wordt ook uitgepakt en weergegeven. Het is inmiddels gebruikelijk in de Arduino-wereld dat de LiquidCrystal-bibliotheek zorgt voor het schrijven op



## ONDERDELENLIJST

### zender

K1 = 2-polige printkroonsteen, steek 0,2"  
 K2 = 3-polige pinheader, steek 0,1"  
 MOD1 = Arduino (Pro) Mini of Uno  
 MOD2 = HC-SR04 ultrasonische transceiver-module (of een vergelijkbaar type; de HY-SRF05 is ook geschikt)  
 MOD3 = 433 MHz zendmodule (zie tekst)  
 Jumper voor K2  
 433-MHz-antenne (spiraal / 173 mm stijf draad)

### ontvanger

R1 = 47Ω  
 P1 = instelpotmeter, 10kΩ  
 K1 = 2-polige printkroonsteen, steek 0,2"  
 LCD1 = alfanumeriek LCD; 2×16 tekens  
 MOD1 = Arduino (Pro) Mini of Uno  
 MOD2 = 433 MHz ontvangstmodule (zie tekst)  
 433-MHz-antenne (spiraal / 173 mm stijf draad)

het LCD. De LED is aan terwijl het display wordt geactualiseerd, zodat er een 'long distance'-terugkoppeling is dat er nieuwe data is ontvangen.

### Waar moeten de sketches naartoe?

De software (inclusief de bibliotheken) bevindt zich in een map met de naam 'portable'. Voeg die map en zijn inhoud gewoon toe aan de map waar het bestand Arduino.exe staat. Als uw installatie al een map 'portable' heeft, zet de bestanden dan daar neer. Als er nog geen map 'portable' is, zal de Arduino-IDE zich ontkoppelen van uw huidige configuratie zodra u die aanmaakt. Mocht dat gebeuren, dan kunt u uw huidige configuratie terugkrijgen door de map 'portable' die u hebt aangemaakt (met zijn inhoud) gewoon weer te verwijderen. Natuurlijk kunt u ook de sketches en bibliotheken op de gebruikelijke plaatsen opslaan.

### Uitbreiden van het systeem

Het gepresenteerde systeem biedt talloze mogelijkheden voor uitbreiding. U kunt bijvoorbeeld een tweede sensor toevoegen. U hoeft er alleen maar voor te zorgen dat die een unieke ID krijgt (daar kunt u het speciale codewoord voor gebruiken). De ontvangsteenheid moet deze ID ook kennen en weergeven op het display. In theorie heeft het beschreven systeem ruimte voor 65.536 sensoren (bepaald door de grootte van het codewoord). In werkelijkheid zal het natuurlijk worden beperkt door de beschikbare bandbreedte en het rekenvermogen van de ontvanger.

Een andere interessante mogelijkheid is om een seriële verbinding met een computer toe te voegen. Het waterniveau kan daar worden opgeslagen in een database. Gebruik een spreadsheet om statistieken te berekenen en mooie grafieken te maken.

Omdat de meeste pennen van de ATmega328 vrij zijn, kunnen er allerlei relais en andere schakelingen worden aangesloten, bijvoorbeeld om pompen en alarmen aan te sturen.



Figuur 4: Het grootste deel van de zoetwatervoorraad van onze planeet is bevroren, zodat pinguïns erop kunnen zitten.

### Bouwen en testen

Bouw de zend- en de ontvangsteenheid op, bijvoorbeeld op twee stukjes gaatjesprint. Dat zou geen probleem moeten zijn, want het zijn eenvoudige schakelingen. Er zijn verschillende typen van de ultrasonische transducer in de handel en de meeste zijn geschikt voor deze schakeling. Ook de typen met vijf pennen, zoals de HY-SRF05, zijn prima te gebruiken. Sla dan bij het aansluiten pen 2 over. Pen 3 t/m 5 worden dan gebruikt in plaats van 2 t/m 4.

Als het bouwen gelukt is, programmeer dan de juiste sketch in de juiste eenheid. Als u de Arduino (Pro) Mini-boards hebt gebruikt, hebt u daar een USB/serieel-converterkabel voor nodig. Schakel beide eenheden in. De LED van de zender zou moeten gaan knipperen in een tempo van ongeveer 1 Hz. Bij de ontvanger moet wat tekst op het display te zien zijn. Als dat niet zo is, probeer dan eerst de contrasttrimmer beter in te stellen, voordat u gaat zoeken naar fouten in de bedrading.

Als de weergave-eenheid het signaal van de zender ontvangt, begint zijn LED te knipperen in een tempo van ongeveer 1 Hz, synchroon met de zender. Op het display is dan een waarde in centimeters te zien en er begint

een tweecijferige teller te lopen. Zet de sensor op een bekende afstand, bijvoorbeeld één meter, voor een groot voorwerp of een muur en controleer de waarde die wordt weergegeven.

De auteur gebruikte een emmer, een plastic lineaal en een badmintonracket om de goede werking van de sensor in een testopstelling te controleren (**figuur 3**).

En veel meer hoeft er niet te gebeuren. U kunt de eenheden nu gaan installeren. Voor het beste ontvangstbereik moeten beide antennes verticaal worden gemonteerd. ◀

(160626)



## IN DE STORE

- 160044-71  
Ultrasonische afstandssensor  
HY-SRF05
- 080213-71  
USB-naar-TTL-kabel
- SKU17001  
Arduino Mini
- Boeken over Arduino:  
[www.elektor.nl/boeken/arduino-books/](http://www.elektor.nl/boeken/arduino-books/)

### Weblinks

[1] Projectpagina: [www.elektormagazine.nl/160626](http://www.elektormagazine.nl/160626)

[2] ElektorLabs-pagina: [www.elektormagazine.com/labs/remote-water-level-meter-a-need-of-the-hour](http://www.elektormagazine.com/labs/remote-water-level-meter-a-need-of-the-hour)

# Platino universele Serial Bus Tester

oplossing voor seriële  
communicatieproblemen

Sunil Malekar & Clemens Valens (Elektor Labs)

Je kent dat vast wel: je hebt een microcontroller die via een SPI-bus met een ander apparaat moet communiceren. Je hebt netjes de SPI-configuratie ingesteld en een testprogrammaatje geschreven, maar: het apparaat reageert niet. Je hebt alles verschillende keren gecontroleerd en in orde bevonden, dus wat is er aan de hand? Wat je dan nodig hebt is een intelligente tool die toont wat er gebeurt op al die draden en pennen: de Platino Serial Bus Tester.

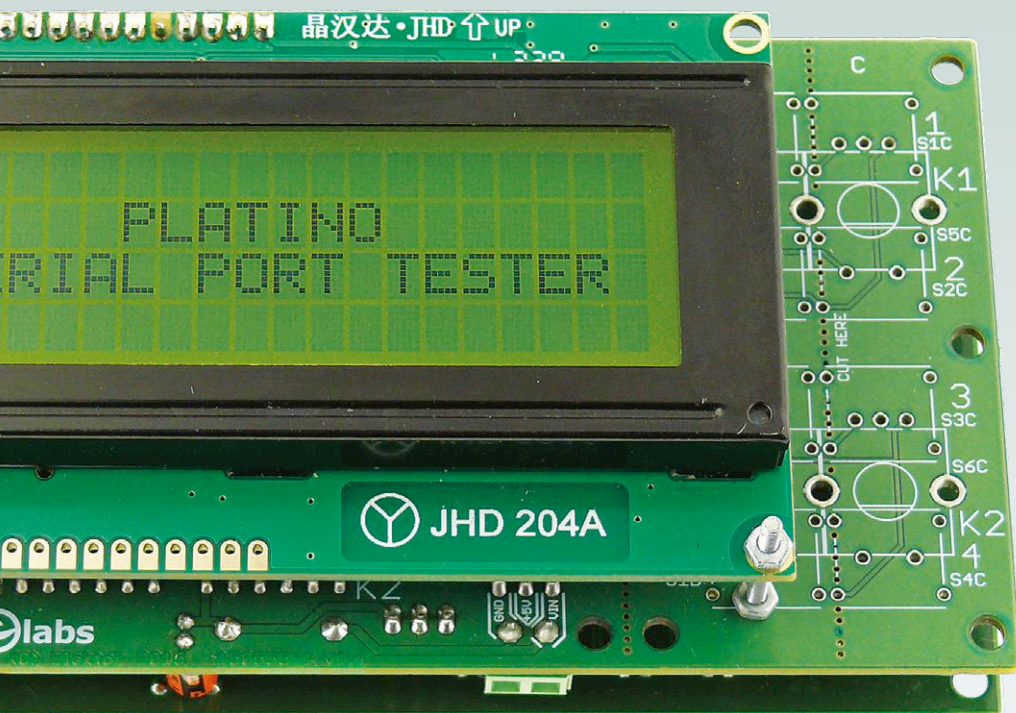
Er zijn weliswaar dure oscilloscopen op de markt die veelgebruikte digitale signalen zoals SPI, I<sup>2</sup>C en standaard serieel kunnen interpreteren, maar een microcontroller kan dat veel beter. In dit arti-

kel presenteren we dan ook een op de Platino gebaseerd systeem dat diverse seriële protocollen spreekt en verstaat en dat specifiek is ontworpen om seriële communicatiebussen te debuggen.

## Terminologie

Laten we eerst even afspreken welke terminologie we hanteren. Een 'bus' is een groep signalen. Een 'communicatieprotocol' is een set regels die voorschrijft hoe





## Eigenschappen

- Volledige controle over seriële communicatiebussen
- 100% Arduino-compatibel
- Kan door gebruiker worden uitgebreid
- 4 soorten hardware-interfaces
- Ondersteunt signaalniveaus van 1,2 V tot 5 V

data tussen computers wordt getransporteerd. Aan de hand van een 'standaard' kan een praktijksituatie worden gemeten en vergeleken. 'Serieel' betekent één bit tegelijk. 'Synchrone' datasignalen bestaan uit gescheiden data- en clocksignalen; 'asynchrone' seriële signalen daarentegen hebben uitsluitend een datasignaal. In dit artikel gebruiken we de term 'protocol' om aan te geven hoe bits op een lijn zijn geordend (bijvoorbeeld één startbit, acht databits, geen pariteit en één stopbit). 'Standaard' duidt op de fysieke vorm van de data (zoals spanningsniveaus en signaalpolariteit op de lijn).

### Specificaties

Dit afgesproken hebbend, kunnen we de ontwerpeisen voor onze tester formuleren:

- multi-protocol;
- multi-standaard.

Dat stelt als lijstje nog niet veel voor; ons project is een schoolvoorbeeld van 'featuritis' dus laten we dit wat meer detailleren:

Multi-protocol (één tegelijk):

- 'gewoon' standaard serieel;
- I<sup>2</sup>C / SMBus / PMBus;
- SPI;
- eventueel nog andere, zoals 1-Wire?

Multi-standaard:

- RS-232;
- RS-485;
- MIDI;
- 5 V;
- 3,3 V.

Met deze standards dekken we een flink aantal protocollen. De meest gebruikte zitten er in elk geval in, exotische protocollen kunnen we altijd later nog toevoegen. Daarnaast willen we een zo groot mogelijke flexibiliteit.

### Multi-standaard hardware

Zoals hiervoor al aangegeven, hebben we als basis van ons project gekozen voor het Elektor Platino-platform [1], voorzien van een alfanumeriek display met vier regels van elk 20 karakters en met achtergrondverlichting, een rotary encoder, een drukknop, een buzzer en een drie-kleuren-LED. Uitgerust met een ATmega1284P-microcontroller hebben we in elk geval genoeg geheugen (128 KB programmeergeheugen en 16 KB RAM) voor seriële protocollen en handige features. Hieraan hebben een uitbreidingsprint toegevoegd met de noodzakelijke interfaces voor onze seriële protocollen (**figuur 1**). Als we de MCU laden met een geschikte bootloader, wordt deze Arduino-compatibel en kunnen we mooi gebruik maken

## PROJECT-INFO



Platino | Arduino | 1-Wire  
seriële communicatie | SPI  
MIDI | I<sup>2</sup>C | PMBus | SMBus



beginners

➔ gevorderden

experts



Ca. 4 uur



(SMD) soldeerbout,  
AVR-programmer,  
serieel/USB-converter,  
computer

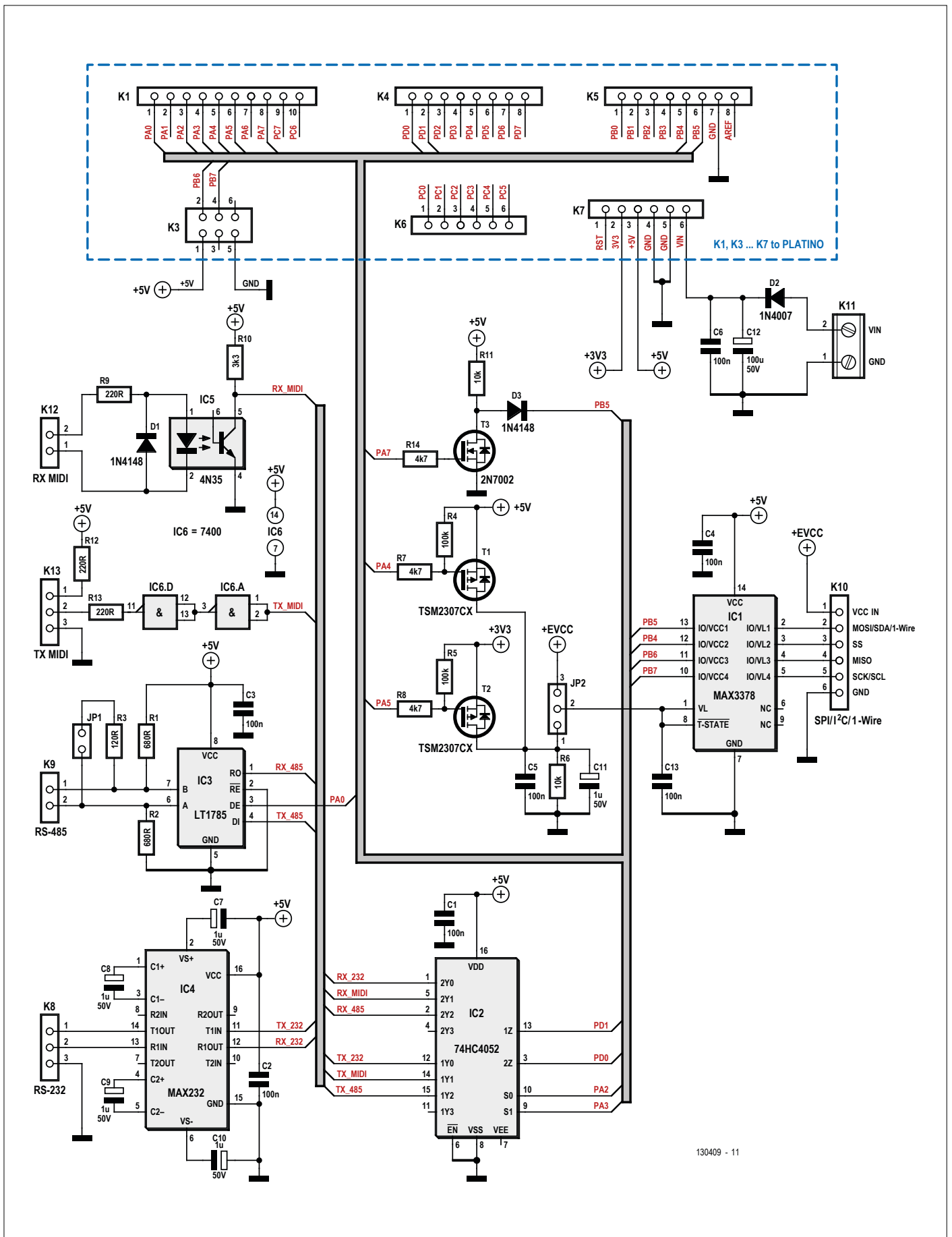


Ca. €75

van het grote aantal online beschikbare Arduino-libraries.

### Multi-protocol software

Omdat onze ruimte hier beperkt is, zullen we die niet verspillen aan een beschrijving van de hardware. Op [1] is informatie te vinden over het Platino platform. Hoewel de ATmega1284P hardwarematig is toegerust voor de belangrijkste seriële



130409 - 11

Figuur 1. Het Platino multi-standaard seriële interface-board heeft interfaces voor RS-232 (K8/IC4), RS-485 (K9/IC3), MIDI (ingang op K12/IC5, uitgang op K13/IC6) gemultiplext door IC2. K10/IC1 levert de interface voor I<sup>2</sup>C, SPI en andere 5-V (T1) of 3,3-V (T2) signaalniveaus waarbij IC1 zorgt voor de noodzakelijke niveau-aanpassing. Andere signaalniveaus zijn mogelijk via EVCC (1,2...5 V) en door JP2 aan te brengen. T3 is de 1-Wire output.



protocollen UART, I<sup>2</sup>C en SPI, maakt de vaste pintoewijzing het helaas onmogelijk deze gezamenlijk met Platino's user-interface ten volle te benutten. Daarom hebben we ervoor gekozen het relatief trage I<sup>2</sup>C-protocol (maximaal 400 kHz) in software af te handelen, waardoor de SPI-bus de kans krijgt zijn maximale snelheid van 8 MHz te halen. Dit heeft tevens tot gevolg, dat slechts één van de twee beschikbare UART's beschikbaar is, omdat PD2 (RXD1) en PD3 (TXD1) nodig zijn om het LCD te bedienen in plaats van de SPI-lijnen PB6 (MISO) en PB7 (SCK). Voor seriële data op TTL-niveau is een softwarematige UART nodig die gebruikmaakt van enkele van de SPI-bus pennen. Voor zover dat niet al duidelijk was: onze tester 'doet' slechts één serieel protocol tegelijk.

### Ergonomie staat voorop!

Omdat de bruikbaarheid van de tester in belangrijke mate afhangt van de ergonomie, hebben we nogal wat tijd besteed aan de gebruikersinterface (UI, *user interface*). Het doel was het gebruik van de tester zo simpel en comfortabel als maar enigszins mogelijk te maken, ondanks dat het display niet veel ruimte heeft en geen kleurrijke grafische mogelijkheden heeft. Alle parameters zijn toegankelijk door draaien en indrukken van de rotary encoder, zonder allerlei menu-lagen te moeten passeren. Paradoxaal genoeg heeft dit een nogal cryptisch hoofdscherm als resultaat. Maar u zult al snel merken dat dit eenvoudig te bedienen is (figuur 2). Met de encoder kan het kleine pijltje van de ene naar de volgende parameter worden verplaatst. Door de encoder in te drukken wordt de waarde van de parameter gewijzigd of komen we in de Edit-modus voor parameters met een groter bereik (zoals de seriële baudrate).

### Een geschikt menusysteem

Het menusysteem dat deze UI mogelijk maakt, is gebaseerd op de open-source Arduino-library LiquidMenu [2], die op zijn beurt steunt op de LiquidCrystal-library (voorhanden in elke standaard Arduino-installatie). Deze heeft de C++11 standaard (of recenter) nodig, wat inhoudt dat de Arduino toolchain (AVR-GCC) actueel moet zijn. Als u de laatste Platino Boards Package [3] installeert, is dat zeker het geval. We hebben de library enigszins uitgebreid en gemodificeerd (en ook een paar foutjes gerepareerd), dus download [4] om het

allemaal aan de praat te krijgen.

LiquidMenu biedt een menusysteem dat (het zal u niet verrassen) uit één of meerdere menu's bestaat. Een menu bestaat uit één of meerdere schermen en een scherm bevat één of meer items.

### Menu-items

Een item kan op elke plaats op het display worden gezet en kan aan maximaal vijf variabelen worden gelinkt (instelbaar). Variabelen kunnen van elk type zijn, van floating-point tot text-strings, en worden automatisch naar leesbare tekst geconverteerd als ze worden geprint. Elk item kan ook worden gelinkt naar acht functies (ook instelbaar) die iets kunnen activeren of gerelateerde variabelen kunnen aanpassen. Items die niet aan een functie zijn gelinkt, kunnen geen focus krijgen en zijn dus eigenlijk tekstobjecten.

Let op: binnen de library worden menu-items *menu lines* genoemd (**LiquidLine**), wat een beetje verwarrend is, omdat ze niets van doen hebben met de regels op het display.

### Schermen

Standaard kunnen maximaal 12 menu-items tot schermen worden gecombineerd (**LiquidScreen**).

Een item kan lid zijn van meerdere schermen, zoals het Back-item ("**<<**") in ons systeem. Een scherm 'weet' welk item de focus heeft en roept de daarbij behorende functies aan.

### Menu's

Eén of meer — maximaal 14 — schermen vormen een menu (**LiquidMenu**). In ons systeem hebben we maar één scherm per menu nodig. Een menu houdt bij welk scherm actief is. Met 14 schermen van 12 items kunnen zeer lange menu's worden gebouwd, met maximaal 12 x 14 = 168 items.

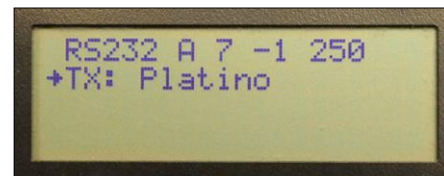
### Systeem

In totaal kunnen acht menu's worden samengevoegd tot een menusysteem, maar dat is natuurlijk niet noodzakelijk.

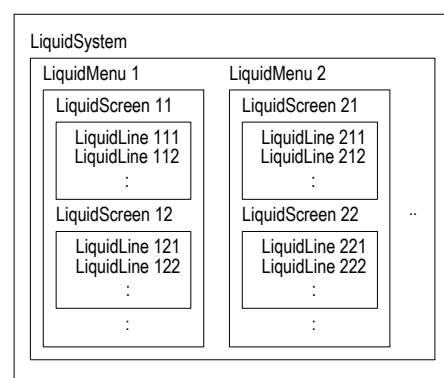
**Figuur 3** geeft een overzicht. Wij gebruiken hier één systeem dat we 'ui' hebben genoemd en waaraan we UI-functies zoals piepjes en knipperende schermen hebben toegevoegd.

### What the ...?

U begint zich wellicht zo onderhand af te vragen waarom een artikel over een seriële poort-tester vooral over menustructuren



Figuur 2. Het hoofdscherm van de Serial Bus Tester geeft op de bovenste regel het seriële protocol en de gebruikte standaard, het data display format (ASCII of hexadecimaal), het aantal te verzenden bytes (max. 7), het aantal malen dat moet worden uitgezonden (0 tot 99, of eindeloos), en de tijd tussen twee transmissies in milliseconden (9.999 ms max.). De tweede regel bevat de data die moet worden uitgezonden. De regels drie en vier zijn gereserveerd voor inkomende data.



Figuur 3. De wijze waarop de LiquidMenu-library is georganiseerd heeft wel wat weg van een matroesjka-poppetje...

gaat. Dat komt doordat de communicatie- en testfuncties in dit project eigenlijk maar een klein aandeel hebben. Meer dan 80% van de firmware draait namelijk om de ergonomie. En daarom is het van belang goed te begrijpen hoe het in elkaar zit als u straks wijzigingen wilt aanbrengen of een ander protocol zou willen toevoegen.

### Het hoofdscherm

In het bestand `ui_main.cpp` staat het hoofdscherm, waarin alle besproken menu-technieken voorkomen:

- Naar een submenu gaan: Protocol;
- Kiezen uit verschillende waarden: ASCII- of HEX-data display;
- Omhoog draaien naar een waarde: TX data size en aantal transmissies;
- Een waarde aanpassen: tijd tussen twee transmissies;
- Een string aanpassen: TX data.

Voor de hiernavolgende beschrijving gaan we ervan uit dat de seriële tester niet in

## De Platino in het kort

Platino is een universele print voor AVR-microcontrollers in DIP28- of DIP40-behuizing. Hij kan worden uitgerust met gebruikersinterface-objecten zoals drukknoppen, LED's, buzzers en displays. Alles, maar dan ook echt alles, over Platino kan worden gevonden op de Elektor Labs-website (zie hieronder) en op de GitHub-repository van Elektor Labs. De ervaring heeft geleerd dat Platinogebruikers het lastig vinden om de jumpers te configureren. Dat is begrijpelijk, want het zijn er veel. De tabel hieronder toont de settings voor dit project. De Positie-kolom komt overeen met de labels die zijn gedrukt op de Platinoprint versie 150555-1 v.1.4. Wij raden aan om de gewenste jumpers te solderen voordat onderdelen worden gemonteerd.

En nu we het toch over onderdelen hebben: dit project vereist een volledig geassembleerde Platino met een 40-pins MCU (ATmega1284P-PU), dus een 28-pins voetje is niet nodig, maar wel: een 4x20 alfanumeriek LCD met backlight, een rotary encoder met geïntegreerde drukknop op positie S5A of S5C (naargelang uw eigen voorkeur) en een drukknop op positie S4A of S4C (eveneens, zoals u zelf wilt).

De onderdelenlijst van Platino is hier te vinden:

[www.elektormagazine.com/labs/](http://www.elektormagazine.com/labs/)

[platino-versatile-board-for-avr-microcontrollers-100892-150555](http://www.elektormagazine.com/labs/platino-versatile-board-for-avr-microcontrollers-100892-150555)

Jumper	Posie	Functie
JP1	C	Buzzer op PC4
JP2	-	Niet aanwezig
JP3	C	LCD backlight op PC5
JP4	B	Rotary-encoder A op PB0
JP5	B	Rotary-encoder B op PB1
JP6	B	Rotar-encoder drukknop op PB2
JP7	B	Drukknop op PB3
JP8	DIP40	Gebruik van PC6 mogelijk
JP9	PB7	Gebruik van PB7 mogelijk
JP10	PB6	Gebruik van PB6 mogelijk
JP11	DIP40	ISP SCK op PB7
JP12	DIP40	ISP MISO op PB6
JP13	DIP40	ISP MOSI op PB5
JP14	C	LED1 blauw op PC7
JP15	D	LCD RS op PD2
JP16	D	LCD E op PD3

testmodus staat, maar in menu-navigatiemodus. Verder geeft het begin van de naam van een functie of variabele aan in welk bestand hij is geïmplementeerd of gedeclareerd. Als voorbeeld, de functie `ui_bus_type_refresh` is opgenomen in het bestand `ui_bus.cpp` (zie **figuur 4**).

### Naar een submenu gaan

Als we in het hoofdscherm de cursor (het pijltje) links van de protocolnaam plaatsen door aan de encoder te draaien en deze dan in te drukken, gaan we naar het betreffende submenu waar we de voor dit protocol specifieke parameters kunnen instellen.

Omdat de navigatiemodus actief is, zal het indrukken van de encoder de eerste aan dit menu-item gekoppelde functie

aanroepen. Voor het protocolmenu is dat `ui_bus_enter`. Deze laadt het submenu-scherm, activeert dit en toont het op het display.

### Kiezen uit verschillende waarden

Als we in het hoofdscherm de cursor links van het data display format-veld plaatsen ('A' of 'H') en dan de encoder indrukken, verandert het veld van waarde. Dit veld heeft maar twee waarden, maar andere items van dit type in andere menu's hebben er meer. Door herhaaldelijk indrukken van de encoder stappen we door de mogelijke waarden.

Net als hiervoor heeft het indrukken van de encoder in de navigatiemodus tot gevolg dat de eerste aan het menu-item

gekoppelde functie wordt aangeroepen, in het geval van het data format-item is dat `ui_main_data_format`. Deze actualiseert de waarde en print de TX data in het nieuwe formaat.

### Een waarde kiezen

Als we in het hoofdscherm de cursor voor TX data size of transmit count fields plaatsen en dan de encoder indrukken, wordt de parameter-edit modus geactiveerd. Door aan de encoder te draaien wordt de waarde van het veld verhoogd of verlaagd (0...7 of -1...99). Met nogmaals indrukken van de encoder verlaten we de parameter-edit modus.

Omdat we in menu-navigatie modus zijn, leidt indrukken van de encoder tot het aanroepen van de eerste aan het menu-item gekoppelde functie, in dit geval `ui_main_tx_data_size`. Deze functie activeert de edit-modus en koppelt de rotary encoder aan de functie `ui_main_tx_data_size_increment`, die de veldwaarde aanpast.

In de edit-modus werkt het indrukken van de encoder anders: dan wordt het volgende digitaal of karakter geselecteerd. Als er geen volgend karakter is, wordt teruggestrapt naar de menu-navigatie modus. Het veld TX data size heeft slechts één digitaal. Het veld transmit count heeft twee digits, maar omdat dit ook negatief kan zijn, hetgeen het digitaal voor digitaal afhandelen aanzienlijk compliceert, wordt dit op dezelfde wijze behandeld als een enkelvoudige digitaalwaarde.

### Een getal aanpassen

Als we in het hoofdscherm de cursor links van het veld repetition rate plaatsen en dan de encoder indrukken zal dit opnieuw de parameter-edit modus activeren. Omdat dit veld wel 4 digits kan bevatten ('0000' tot '9999'), wordt door draaien aan de encoder het eerste digitaal verhoogd of verlaagd. Opnieuw indrukken van de encoder verplaatst de cursor naar het volgende digitaal. Als er geen digits meer zijn om aan te passen schakelt het systeem terug naar de menu-navigatie modus.

Deze manier van editen is vrijwel gelijk aan het omhoog of omlaag draaien naar een waarde, alleen hebben we hier meer dan één digitaal. Ook voor het besturen van de cursor hebben we wat extra aandacht moeten besteden aan de wijze waarop LiquidMenu het display aanstuurt. Maar daar geven we toch de voorkeur aan boven het aan de library toevoegen van specifieke functies.

```

_130409_serial_bus_tester.ino
├── addon_board.cpp
├── test.cpp
│   ├── serial.cpp
│   ├── spi.cpp
│   └── soft_i2c.cpp
├── ui.cpp
│   ├── ui_splash.cpp
│   ├── ui_main.cpp
│   └── ui_bus.cpp
│       ├── ui_bus_serial.cpp
│       ├── ui_bus_spi.cpp
│       ├── ui_bus_i2c.cpp
│       ├── ui_bus_smb.cpp
│       ├── ui_bus_pmb.cpp
│       ├── ui_bus_midi.cpp
│       └── ui_bus_1wire.cpp

```

Figuur 4. De boomstructuur van de broncode heeft het Arduino INO-bestand als root, alle andere zijn C++ bestanden. Omwille van de overzichtelijkheid zijn de headerfiles hier niet weergegeven. De meeste bestanden hebben betrekking op de gebruikersinterface (UI).

### Een string aanpassen

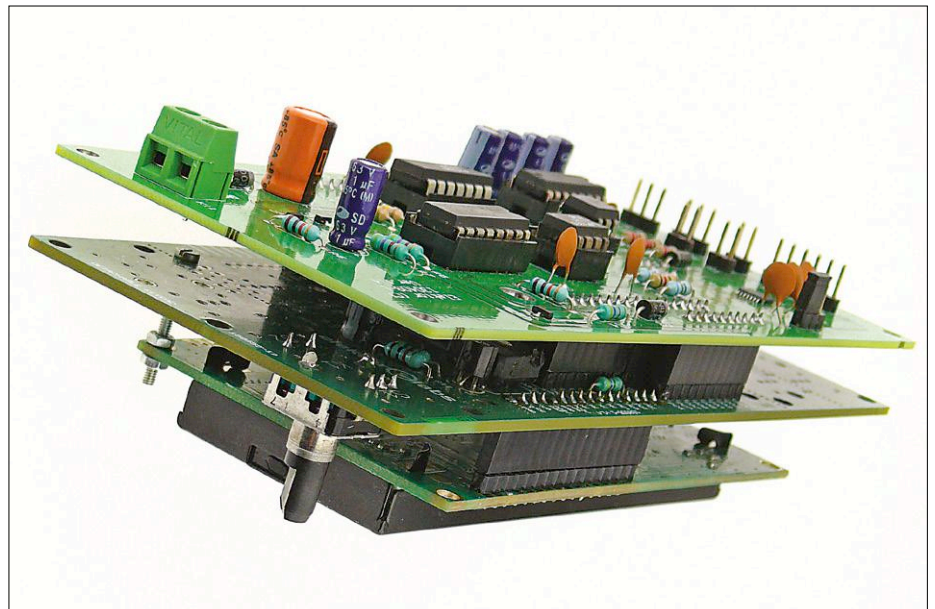
Als we in het hoofdscherm de cursor links naast het veld 'TX' plaatsen (aan het begin van de tweede regel) en dan de encoder indrukken, komen we in de meest gecompliceerde edit-modus: het aanpassen van een string. Dit is gecompliceerd omdat dit zowel in ASCII- als in hexadecimale modus kan werken. In hexmodus is een string echter twee keer zo lang als in ASCII-modus. Daar komt bij dat in ASCII-modus karakters als bytes worden behandeld, maar in hexmodus nibble voor nibble. Voor het overige gaat het aanpassen van strings hetzelfde als bij getallen.

Merk op dat TX data maximaal zeven bytes lang kan zijn. Dit heeft te maken met de beperkte ruimte op de tweede regel. Als het data display format hexadecimaal is, is er net genoeg ruimte om zeven hexwaarden weer te geven. De derde en vierde regel zijn gereserveerd voor RX data en die wilden we niet opofferen.

### Meer over protocollen en hun submenu's

In het protocol-submenu kan het gewenste protocol worden geselecteerd en vervolgens geactiveerd door de encoder in te drukken. Om terug te gaan naar het hoofdscherm kiezen we 'Back' ("<<").

Van elk protocol kunnen de belangrijkste parameters worden ingesteld:



Figuur 5. De geheel opgebouwde Platino Serial Port Tester. De Platino zit in het midden, de LCD onderop en het interface-board bovenop.

## ▶ De tool die u altijd al wilde hebben maar nooit aan toekwam om te bouwen

- RS-232 en RS-485: baudrate (van 1 tot 2.000.000 baud), aantal data- en stopbits (5 tot 8, resp. 1 of 2), en de pariteit (even, oneven of geen);
- SPI: Master/Slave, MSB/LSB eerst, klokfase en -polariteit, snelheid en signaalniveau;
- I<sup>2</sup>C: Master/Slave, adres, aantal bytes dat moet worden geschreven of gelezen, snelheid en signaalniveau;
- MIDI: kanaal, status, twee data bytes.

Op het moment dat we dit artikel schrijven zijn dit de geïmplementeerde protocollen, maar het kan zijn dat de meest recente versie van de software er meer bevat.

Vanuit gebruikersperspectief moeten we bij één aspect nog even stilstaan. Wanneer een protocol zoals SPI of I<sup>2</sup>C zich in master-modus bevindt, wordt zijn naam in hoofdletters aangeduid (dus 'SPI' of 'I2C') en in slave-modus in kleine letters (dus 'spi' of 'i2c').

### SPI

Dit protocol kent vier goed gedefinieerde polariteitsstandaarden, doorgaans

genummerd van 0 tot 3 en gerelateerd aan klokfase (CPOL) en -polariteit (CPHA). Onze tester ondersteunt deze alle vier. Voorts kunnen zowel signalen van 3,3 V als van 5 V worden gebruikt. De perifere hardware van de MCU wordt voor SPI gebruikt en kent zeven snelheden: 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz en 8 MHz (als de MCU geklokt wordt met 16 MHz). In de slave-modus wordt de kloksnelheid natuurlijk door de master gedictieerd.

### I<sup>2</sup>C

Net als bij SPI kan ook I<sup>2</sup>C signaalniveaus hebben van 3,3 V of 5 V. Maar in tegenstelling tot SPI is I<sup>2</sup>C in software geïmplementeerd en ondersteunt daardoor niet alle mogelijkheden die door de ontwikkelaars van deze communicatiestandaard worden geboden. De maximale snelheid is 400 kHz, wat haalbaar is door zorgvuldig te programmeren.

Het in de master-modus gespecificeerde adres is het slave-adres. Alleen 7-bit I<sup>2</sup>C-adressen worden ondersteund (soms specificeren datasheets 8-bit adressen, één voor lezen en één voor schrijven. Schuif in dat geval de adressen 1 bit naar

rechts om het 7-bit adres te verkrijgen. Ze blijken dan identiek.) De seriële tester zet het slave-adres automatisch samen met het read/write-bit op het juiste moment in de data en beeldt dat niet af in de TX

data op het hoofdscherm. In de slave-modus wordt het adres gelijk aan het eigen adres van de seriële tester.

Lees-, schrijf- en lees/schrijf-transacties worden ondersteund door het aantal te

lezen of te schrijven bytes in te stellen. SMBus en PMBus zijn een soort simpele low-speed varianten van I<sup>2</sup>C die een zogenaamd Packet Error Checking-byte (PEC) aan het eind van een bericht kun-



## ONDERDELENLIJST

### Weerstanden

(alle 5%, 0,25 W)

R1,R2 = 680 Ω  
R3 = 120 Ω  
R4,R5 = 100 kΩ  
R6,R11 = 10 kΩ  
R7,R8,R14 = 4,7 kΩ  
R9,R12,R13 = 220 Ω  
R10 = 3,3 kΩ

### Condensatoren

C1,C2,C3,C4,C5,C6,C13 = 100 nF, steek 5 mm  
C7,C8,C9,C10,C11 = 1 µF/16 V, steek 2,5mm  
C12 = 100 µF/16V, steek 2,5mm

### Halfgeleiders

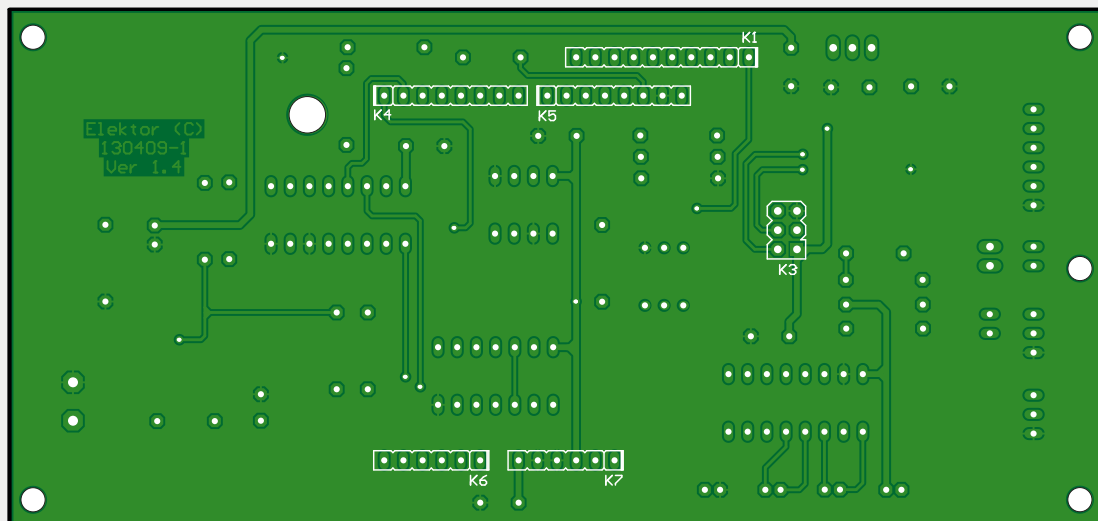
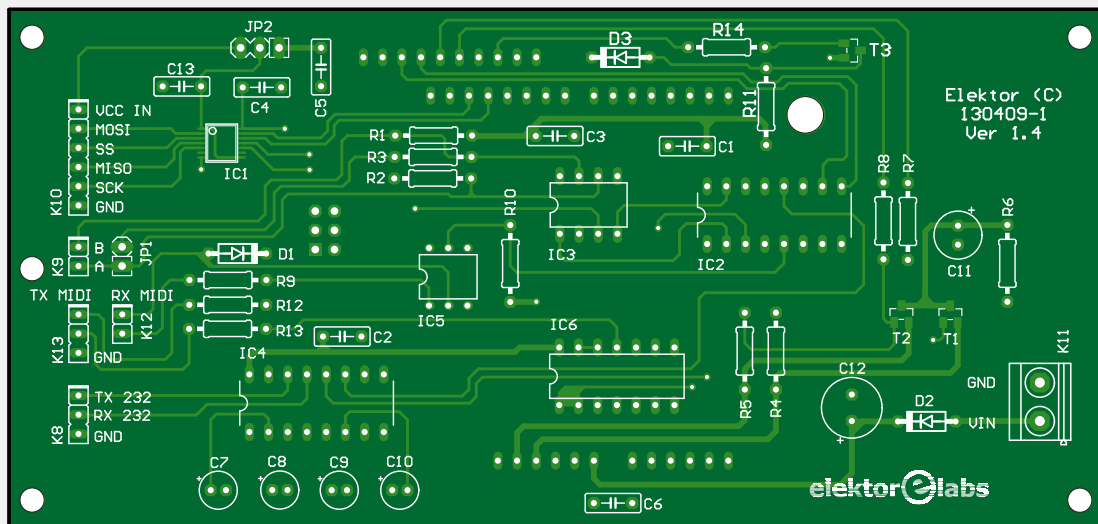
D1,D3 = 1N4148  
D2 = 1N4007  
T1,T2 = TSM2307CX  
T3 = 2N7002  
IC1 = MAX3378EEUD+  
IC2 = 74HC4052  
IC3 = LT1785  
IC4 = MAX232  
IC5 = 4N35  
IC6 = 74HC00

### Diversen

K1 = 10-polige (1x10) pinheader, steek 0,1"

K3 = 6-polige (2x3) pinheader, steek 0,1"  
K4, K5 = 8-polige (1x8) pinheader, steek 0,1"  
K6, K7 = 6-polige (1x6) pinheader, steek 0,1"  
JP1, K9, K12 = 2-polige pinheader, steek 0,1"  
JP2, K8, K13 = 3-polige pinheader, steek 0,1"  
K10 = 6-polige pinheader, steek 0,1"  
K11 = 2-polige printkroonsteen  
2 stuks 2-voudige jumper voor JP1 en JP2  
DIP-6 voetje voor IC5 (optioneel)  
DIP-8 voetje voor IC3 (optioneel)  
DIP-14 voetje voor IC6 (optioneel)  
2 stuks DIP-16 voetje voor IC2, IC4 (optioneel)

Print 130409-1



nen toevoegen. De seriële tester berekent dit automatisch en beeldt het niet op het display af als TX data.

### MIDI

Dit is een fixed-speed variant (31,25 kHz) van het standaard seriële protocol. Maar omdat MIDI doorgaans maar drie — goed gedefinieerde — bytes bevat zijn deze eenvoudig te configureren op de MIDI-protocolpagina. Het kanaal en de status (de textstring na het kanaal-veld) worden gecombineerd tot één byte, en de twee databytes worden toegevoegd. Het resulterende 3-byte lange bericht wordt op het hoofdscherm getoond als hexadecimale TX data en kan daar worden aangepast. Hier kan ook een langer of korter bericht worden samengesteld, bijvoorbeeld in geval van systeem-exclusieve berichten.

### Piepjes

De UI gebruikt drie soorten piepjes om gebruikersacties hoorbaar terug te koppelen:

- hoog: enter submenu, test-, of parameter-edit modus;
- midden: stap door naar volgende aan te passen digit of karakter;
- laag: verlaat submenu, test-, of parameter-edit modus.

Het selecteren van menu-items waarin door een reeks waarden kan worden gestapt levert een laagfrequente piep, omdat deze actie overeenkomt met de opeenvolging van: ga naar edit-modus, verander de waarde en verlaat daarna de edit-modus. Omdat deze laatste actie de gebruiker terugbrengt naar het begin, is een lage piep het meest geschikt.

### En dan, eindelijk.... de testmodus

De seriële tester heeft een speciale drukknop (Platino-drukknop S4) om de testmodus te activeren of deze te verlaten. Deze knop mag op elk moment worden ingedrukt. Als hij wordt ingedrukt op het moment dat een submenu wordt

getoond, gaat het systeem terug naar het hoofdscherm.

In de testmodus is het mogelijk de setup van de tester aan te passen. In sommige gevallen leidt dit tot het verlaten van de testmodus. Enkele parameters kunnen direct worden aangepast, maar niet allemaal. Om er zeker van te zijn dat aanpassing van een parameter effect heeft, is het daarom beter de testmodus opnieuw te starten.

### LED

De driekleuren-LED wordt rood als de testmodus wordt geactiveerd, en is anders groen (en oranje in parameter-edit modus, eigenlijk alleen maar omdat dat kan...). Blauw wordt op dit moment niet gebruikt.

### RX data

Alle inkomende data wordt weergegeven op regel 3 en 4 van het display. Data rechts onder het TX-veld is de oudste; data in de rechter benedenhoek is de nieuwste. Er zijn geen separators tussen de regels.

Het RX dataveld wordt bij iedere start van een test gewist.

### Herhaalde transmissie

Het is mogelijk niets uit te zenden door Tx dataformaat, of het aantal transmissies, op nul te zetten. Als het aantal transmissies op -1 wordt gezet leidt dat tot een eindeloze herhaling. De tijd tussen twee transmissies wordt bepaald door de repetition rate (herhalingsfrequentie) in milliseconden.

### SPI

Inherent aan de werking van SPI, kan in SPI master-modus alleen worden ontvangen als de master zendt. Een truc om toch alleen te kunnen ontvangen is het voortdurend uitzenden van de waarde 0 of 0xff. In SPI slave-modus zendt de tester de TX data als de SPI master een kloksignaal genereert. TX data komt in een lus als om meer data wordt verzocht dan in TX data size is gespecificeerd.

Merk op dat het eerst ontvangen byte meestal bestaat uit rommel die is achtergebleven in het ontvangst-dataregister. Ook dit is inherent aan de werking van SPI.

### I<sup>2</sup>C

Net als bij SPI, kan ook een I<sup>2</sup>C-master alleen data ontvangen als hij een kloksignaal genereert. Voorts moet de slave in leesmodus staan. Aan deze voorwaarden is voldaan als in het I<sup>2</sup>C-submenu het aantal te lezen bytes ongelijk is aan 0. In slave-modus zal de tester het gevraagde aantal TX databytes verzenden. Als gevraagd wordt om meer bytes dan in TX data size gespecificeerd komt TX data in een lus.

### We hebben de knoop voor je doorgemaakt....

De Platino Serial Bus Tester is zo'n stuk gereedschap dat u altijd al wilde hebben op het moment dat u met een serieel communicatieprobleem zat, maar nooit hebt gebouwd omdat u er geen tijd voor had als u hem nodig had. Daarom hebben wij, na dertig jaar aarzelen, de knoop doorgemaakt en hem voor u ontwikkeld (**figuur 5**).

Het ontwerp is helder en open en daarvoor eenvoudig te begrijpen, aan te passen en/of uit te breiden. De software is modulair geschreven en helemaal Arduino-compatibel, zodat snel nieuwe protocollen kunnen worden toegevoegd. Minder dan 20% van het programmeergeheugen en 10% van de RAM is gebruikt. Het gepresenteerde menusysteem is prima geschikt om in andere (Platino)projecten te gebruiken.

Alles bij elkaar denken wij dat de Serial Port Tester een fijn en bruikbaar referentieontwerp is op basis waarvan grotere (Platino)projecten kunnen worden gebouwd. ◀

(130409)

### Web Links

- [1] Platino: [www.elektormagazine.com/150555](http://www.elektormagazine.com/150555)
- [2] LiquidMenu: <https://github.com/VaSe7u/LiquidMenu>
- [3] Platino Boards package voor Arduino: <https://github.com/ElektorLabs/Arduino>
- [4] Projectpagina van dit artikel: [www.elektormagazine.com/130409](http://www.elektormagazine.com/130409)



**IN DE STORE**

→ 130409-1  
Serial Tester Interface board,  
kale print

→ 150555-1  
Kale Platino-print

# Supercaps

## Weinig spanning en veel stroom... of toch niet?



Tam Hanna (Slowakije)

Door de dalende prijs van supercaps worden deze componenten voor zelfbouwprojecten en kleine series steeds interessanter. In dit artikel gaan we in meer detail in op de verschillende types supercondensatoren, enkele theoretische overwegingen voor het gebruik en ten slotte een aantal IC's die interessante oplossingen bieden voor supercondensatoren.

Figuur 1. Supercaps van AVX (foto: AVX).

In de derde uitgave van de bekende elektronica-bijbel 'The Art of Electronics' van Horowitz en Hill vindt u op pagina 690 een zogenaamd Ragone-diagram, dat de energiedichtheid van supercaps vergelijkt met andere condensatortypen en accu's. De supercondensatoren komen in de buurt van klassieke accu's. Dit heeft de auteur bewogen zich verder te verdiepen in deze materie.

In dat diagram valt meteen op dat de schalen logaritmisch zijn — in werkelijkheid zijn supercaps nog lang niet in staat om de energiedichtheid van de andere spelers ook maar te benaderen. Dat wil echter niet zeggen dat deze componenten geen bestaansrecht zouden hebben. Supercaps onderscheiden zich van accu's door de enorme stroom per gewichtseenheid die ze kunnen leveren. Verder hebben ze een praktisch onbegrensde levensduur: meer dan dan duizend laad- en ontlaadcycli is voor

een supercap geen enkel probleem zolang er thermisch gezien maar niets aan de hand is.

### Twee condensator types?

Bij de zoektocht naar een geschikte supercap in de elektronica-winkel valt meteen op dat er twee verschillende condensatortypes zijn die door de distributeur onder een begrip super-respectievelijk ultracap ondergebracht worden:

- Ten eerste de supercondensatoren waar we het straks over gaan hebben, deze hebben een buitengewoon lage inwendige weerstand (**figuur 1**);
- Ten tweede de goldcaps die gebruikt worden als back-up voeding, deze hebben een zeer kleine zelfontlading maar kunnen slechts weinig stroom leveren (**figuur 2**).

De belangrijkste gegevens van supercap en goldcap staan in **tabel 1**. Merk op dat de snelle stijging van de spanning bij de goldcap komt door de enorme inwendige weerstand.

Voor het opladen van een supercap kan een spanningsregelaar-IC zoals een LM317 gebruikt worden. De meeste spanningsregelaars schakelen de uitgangsstroom bij het overschrijden van de maximale waarde af — dit is dan wel niet de meest fraaie methode, maar het werkt in de praktijk zonder problemen.

### Op de grens van wat meetbaar is

De AVX SCCR12B105SRB die gebruikt werd voor deze test — de veel goedkopere Nichicon JUWT1105MCD was uitverkocht op het moment van het ter perse gaan — is vanuit het perspectief van een LCR-meter een onaanvaardbare DUT: Een HP



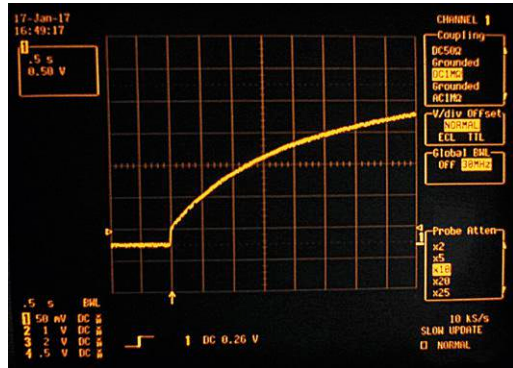
Figuur 2. Goldcaps van Panasonic (foto: Panasonic).

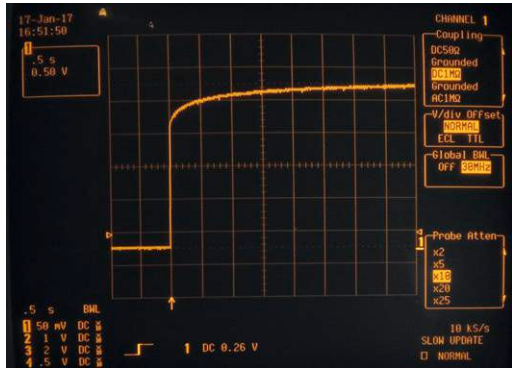
**Tabel 1. De belangrijkste gegevens van een supercap en een goldcap.**

Condensator	SuperCap, AVX SCCR12B105SRB	GoldCap, Panasonic NF Series EECF5R5U105
Specificaties	2,7 V, 1 F	5,0 V, 1 F
Gewicht	0,94 g, lange draden (!)	7,92 g

**Oscillogram inschakelen,  $I_{Max} = 1 A$**





4262A beschouwt hem als een kortsluiting!

Voor het berekenen (schatten) van de capaciteit gebruiken we een oude truck. Het ontladen van een condensator over een bekende weerstand wordt beschreven door de formule  $t = R \cdot C$ ; na een tijdconstante  $RC$  zal de spanning over de condensator 63,2% van  $U_{in}$  bedragen. We laden de testcondensator op met een spanningsbron van 2,7 V in serie met een weerstand van 21  $\Omega$ . Het zichtbaar maken van de grafiek is voor een digitale scoop geen probleem — als we tenminste het lastige probleem van de kalibratie kunnen oplossen. Hier helpt het om de condensator een tijdje kortgesloten te laten liggen om het ‘absolute nulpunt’ voor de meting te bepalen.

Met deze werkwijze en wat geduld gaan we aan de gang met onze supercaps. In **tabel 2** staat de uitwerking van de gemeenten resultaten van vijf condensatoren uit dezelfde levering. Het is interessant te zien dat het op dit moment niet nodig is verdere berekeningen uit te voeren. Met de formule  $t = R \cdot C$  is het ook zonder veel berekeningen duidelijk dat de waarden wat verschillen.

Dan gaan we ons nu bezighouden met de vraag van de kortsluitstroom; nog een tour de force omdat de kortsluitstroom vanwege de lage spanning gemeten moet worden over een zeer laagohmige verbinding. Kroonsteentjes die overal in het lab te vinden zijn, kunnen we meteen afschrijven. De weerstand daarvan is al minstens 1 ohm wat bij een spanning van 2,7 V minder dan 3 A oplevert.

Een relais van de Chinese fabrikant Songle bleek een goede kandidaat. De datasheet belooft een maximale weerstand van 0,1  $\Omega$  bij ingeschakelde toestand. Omdat deze waarde niet erg stabiel is en bij een stroomstoot door het enigszins smelten van de contacten zal veranderen, is nog een meetweerstand nodig. Daarvoor gebruiken we een hoogvermogen weerstand van 0,22  $\Omega/10 W$ . Na het opladen zoeken we dekking en activeren vanuit een veilige plek het relais. Het resultaat ziet u in de grafiek van **figuur 3**.

**Problemen met serieschakelingen**

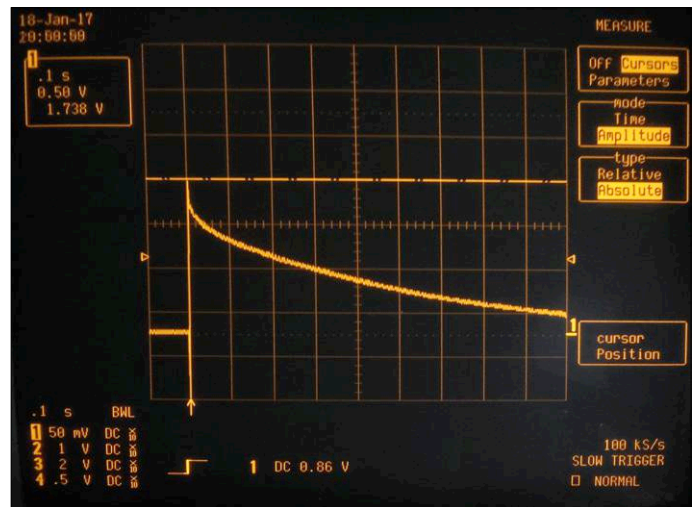
Condensatoren met een zeer nauwkeurige capaciteit zijn duur. Is de exacte capaciteit van buffercondensatoren in een gemiddelde voeding niet zo belangrijk, bij de toepassing van supercaps is dat echter wel uiterst belangrijk.

**Tabel 2. Metingen aan vijf supercaps uit dezelfde levering (in een RC-schakeling).**

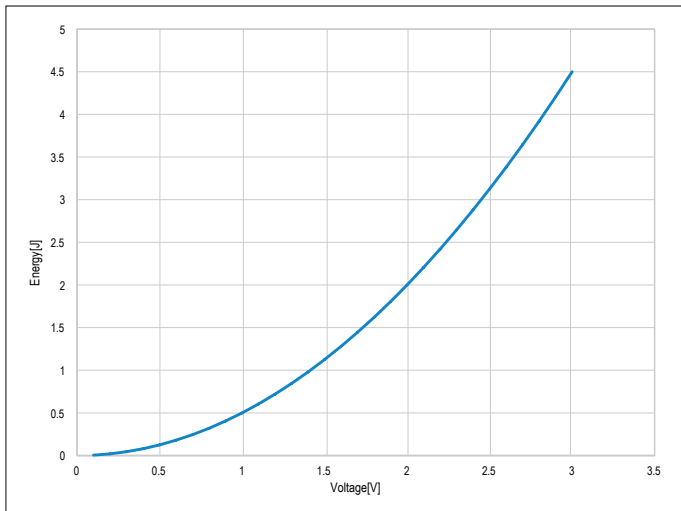
	RC-tijd, 63,2% van $U_{in}$
Exemplaar 1	27,6 s
Exemplaar 2	29,9 s
Exemplaar 3	28,4 s
Exemplaar 4	29,5 s
Exemplaar 5	29,6 s

Waarom is de juiste capaciteit zo belangrijk? Supercaps worden in de praktijk zo goed als altijd in serie geschakeld. Dat komt door de ellendig lage diëlektrische sterkte; onze hier gebruikte types kunnen maar 2,7 V aan, maximaal. Bij serieschakeling ontstaat er een capacatieve spanningsdeler. Verschillende capaciteitswaarden leiden dan tot verschillende eindspanningen na lading. Geloof u dit niet, hang dan maar eens een paar in serie geschakelde elco’s aan een labvoeding.

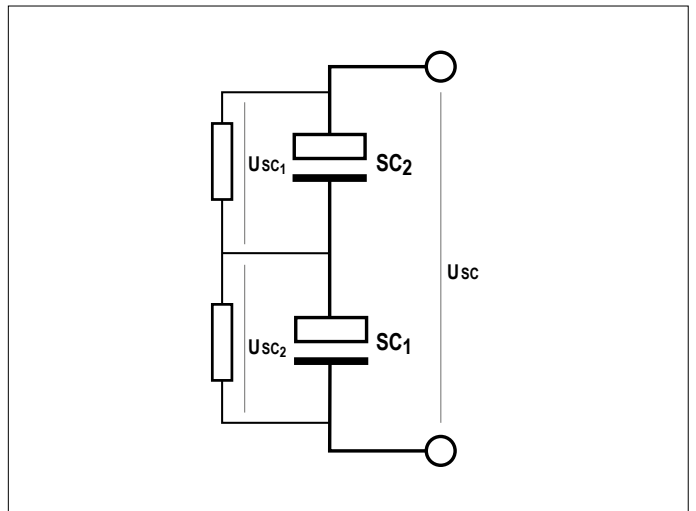
In tegenstelling tot traditionele elektrolytische condensatoren zijn supercaps door hun interne structuur extreem kwetsbaar voor overspanning: bij een verschil van 10 procent heb je als



Figuur 3. Op onze LeCroy zien we een ontladstroom met een topwaarde van 7,9 A.



Figuur 4. Er is een kwadratisch verband tussen de hoeveelheid energie en de spanning.



Figuur 5. Drie weerstanden stellen de condensatoren op de proef.

gebruiker alleen nog maar de keus om ze niet voor energieopslag te gebruiken of beschadiging van de condensatoren maar voor lief te nemen. Het verlagen van de maximale doelspanning leidt al gauw tot een drama zoals in **figuur 4** te zien is, waar het verband tussen de bedrijfsspanning en capaciteit wordt getoond.

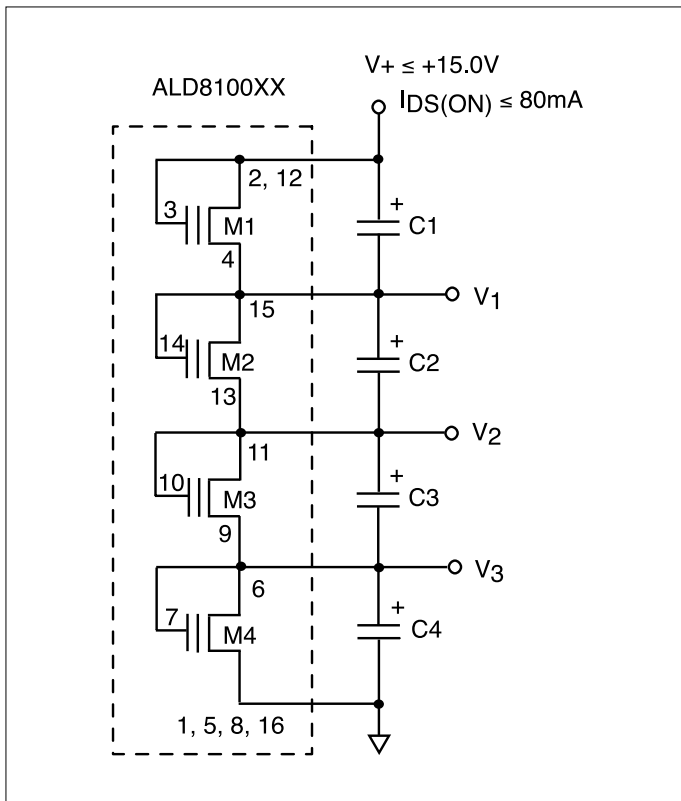
In de praktijk leidt overbelasting van een serieschakeling van enige supercaps tot een progressieve daling die na enkele minuten nog moeilijk te kwalificeren is: realistisch gezien is het alleen nog maar 'condensator of boem!'. De wetenschappers Linzen, Buller, Karden en De Doncker hebben daarvoor een formule bedacht [1] die inderdaad een exponentieel verband toont tussen celspanning en levensduur, maar wel in jaren. De verschillen in capaciteit van een serieschakeling van supercaps kan gecompenseerd worden met een balanceerschakeling. Het gaat daarbij om enkele of meerdere onderdelen die de spanning in het netwerk op de een of andere manier compenseren en overlading van enkele condensatoren voorkomen.

De primitiefste manier is om gewoon drie (in het ideale geval geselecteerde) weerstanden te gebruiken die, zoals in **figuur 5**, parallel geschakeld zijn aan de afzonderlijke supercaps. De rol van de weerstanden is eenvoudig te begrijpen: is een van de spanningen over de drie condensatoren hoger dan een derde dan wordt de overvloedige energie opgestookt. Het nadeel van deze schakeling is dat de weerstanden ook in de 'opslagtoestand' met de condensatoren verbonden zijn en de energie uit de condensatoren verstoken. Afhankelijk van de grootte van de weerstandswaarden is dat meer of minder kritisch — in alle gevallen is dat niet bijzonder wenselijk. Diab, Venet en Rojat beschrijven in [2] diverse actieve balanceringsmethoden, waaronder zowel 'dissiperende' versies met zenerdiodes als ook een aantal die de condensatoren uit het laadcircuit halen en aldus energie besparen.

### Doe het met halfgeleiders!

Het Amerikaanse bedrijf Advanced Linear Devices zorgde een paar maanden geleden voor een sensatie met de aankondiging van de ALD-familie. Het gaat hierbij om een IC met twee of vier FET's die vanaf een zekere spanning — net zoals bij

Tabel 3. De ALD8100XX-familie van Advanced Linear Devices.			
Onderdeel	Schakelspanning	Onderdeel	Schakelspanning
ALD810016	1,6 V	ALD810023	2,3 V
ALD810017	1,7 V	ALD810024	2,4 V
ALD810018	1,8 V	ALD810025	2,5 V
ALD810019	1,9 V	ALD810026	2,6 V
ALD810020	2,0 V	ALD810027	2,7 V
ALD810021	2,1 V	ALD810028	2,8 V
ALD810022	2,2 V		



Figuur 6. Deze condensatoren zijn gebalanceerd.

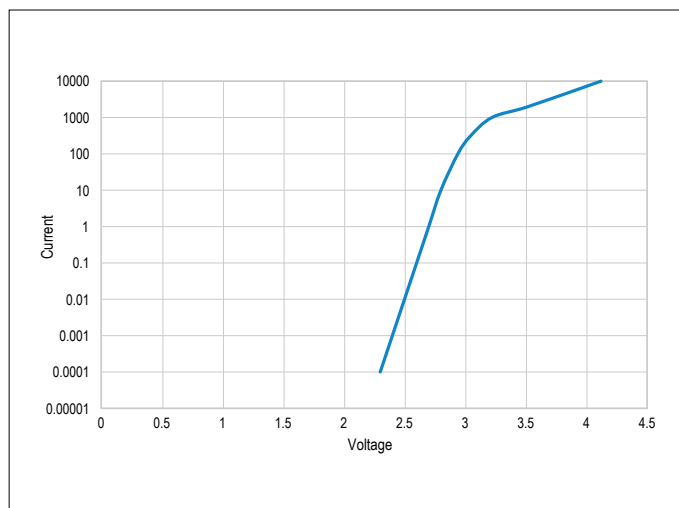


zenerdiodes — gaan geleiden en de spanning over de afzonderlijke condensatoren op deze wijze beperken.

De keuze van de toegelaten maximale spanning gebeurt hier al meteen bij de aankoop van het IC. In **tabel 3** zijn de mogelijke varianten van de ALD8100XX-serie (datasheet op [3]) bij het ter perse gaan van deze uitgave te zien.

In principe zouden de ALD-IC's de ultieme droom kunnen zijn van elke elektronicus: je schakelt de onderdelen zoals in **figuur 6** te zien is gewoon parallel en je hebt een gebalanceerd condensatornetwerk. Evenwel vallen er bij het bestuderen van de datasheet een paar bijzonderheden op die bij gedachtespelletjes met transistoren het vertrouwen in digitale elektronica bepaald niet bevorderen. Laten we eerst eens een condensatornetwerk nemen die vanwege fabricagetoleranties sterk 'uit balans' is. Laten we dan nog eens aannemen dat er een condensator leeg is en een andere volledig geladen — in dat geval zou de eerste condensator met een immens hoge stroom belast worden, waardoor het maximale vermogen (500 mW) van het IC overschreden wordt en onherroepelijk tot zijn vernietiging leidt.

Hierbij zijn twee feiten relevant: ten eerste is deze bedrijfs-toestand volgens de datasheet van Advanced Linear Devices niet toegestaan. De fabrikant doet zelfs de aanbeveling om condensatoren uit dezelfde partij te kiezen. Het diagram in **figuur 7** laat zien waarom. Door het beperken van de maximale stroom, de y-as is overigens logaritmisch, zou het IC in het geval van een massaal uit de pas lopen van condensatoren kapot gaan: het elektrolyt zal gaan fungeren als brandoffer voordat er voldoende spanning wordt bereikt. Verder is het zo dat de laadstroom van een condensator exponentieel daalt. Aan het eind van het laadproces zijn de condensatoren hoogohmig, waardoor de te balanceren of om te leiden stroom minimaal is. De halfgeleiderindustrie levert nu verschillende IC's die geop-



Figuur 7. De maximale door het IC (hier een ALD810027) vloeiende stroom hangt van de spanning af.

timaliseerd zijn voor schakelingen met supercondensatoren. Linear Technologies blijkt de leider te zijn. **Tabel 4** toont een aantal interessante kandidaten.

### Conclusie

Supercaps zijn zeker geen onderdelen die men elke dag toepast. De mars aan de grenzen van meettechnische mogelijkheden is niet alleen maar uit didactische overwegingen interessant. Zowel voor militaire toepassingen alsook in de metaalverwerkende industrie en robottechniek zijn er situaties waar een supercap de gouden standaard is. ◀

(160098)

**Tabel 4. Verschillende types balanceer-IC's.**

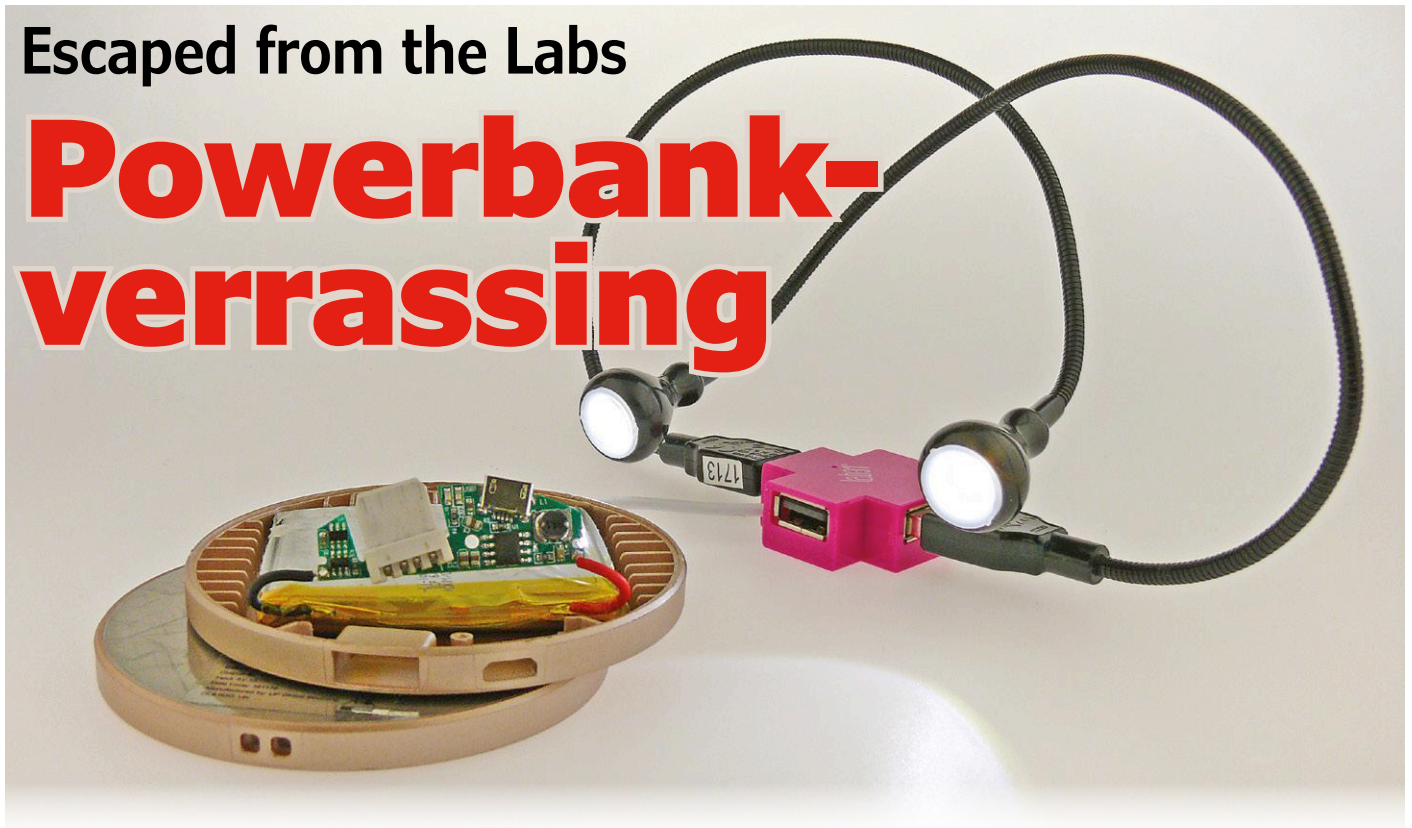
IC	Fabrikant	Behuizing	Beschrijving
XRP6840	Exar	TQFN	Ladingspomp voor led-flitslamp
bq25505	Texas Instruments	VQFN	Energie harvesting-IC, voor laden supercaps
bq24640	Texas Instruments	VQFN	Laadcontroller die omschakelt tussen CC en CV
LTC3225	Linear Technologies	DFN	IC dat supercaps met een laadstroom tot 150 mA met een boost-converter bijtankt
LTC3350	Linear Technologies	QFN	IC dat supercaps en een stepdown-converter combineert ('failsafe' stroomvoorziening)
LTC4425	Linear Technologies	MSOP	IC waarmee supercaps stroomstoten kunnen leveren. De laadbron voegt daar dan gedurende zo'n burst nog 3 A aan toe

### Weblinks

- [1] Dirk Linzen, Stephan Buller, Eckhard Karden, Rik W. De Doncker, Analysis and evaluation of charge-balancing circuits on performance, reliability, and lifetime of supercapacitor systems  
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 2005, 41(5), 1135-1141  
<https://www2.isea.rwth-aachen.de/dataint/alumni/buller>
- [2] Comparison of the Different Circuits Used for Balancing the Voltage of Supercapacitors: Studying Performance and Lifetime of Supercapacitors  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00411482/document>
- [3] Datasheet ALD8100XX-familie van Advanced Linear Devices [www.aldinc.com/pdf/ALD8100xxFamily.pdf](http://www.aldinc.com/pdf/ALD8100xxFamily.pdf)

# Escaped from the Labs

# Powerbank- verrassing

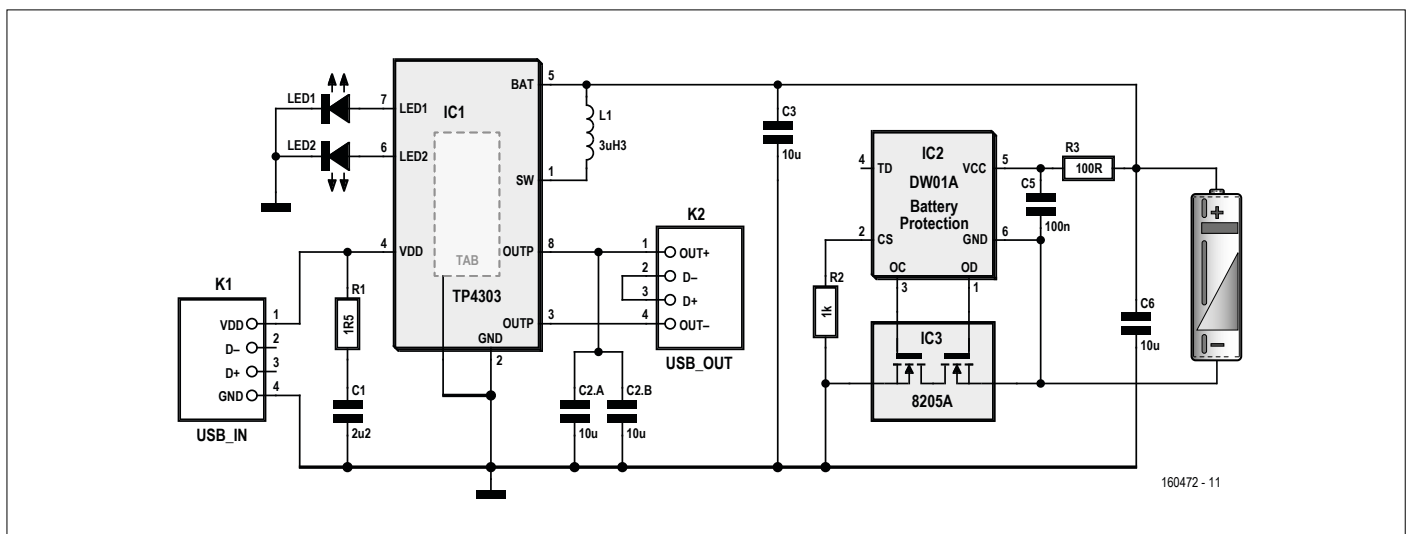


Luc Lemmens (Elektor Lab)

Bij het Peltierlamp-project ('Candle2light', september/oktober 2017, [1]) zag ik ze voor het eerst: die leuke kleine USB-LED-spotjes van een niet nader te noemen Zweeds warenhuis. Niet dat ik er direct een toepassing voor wist, maar het zijn wel van die dingen die in mijn achterhoofd blijven hangen. Een tijdje later kwam ik bij een Nederlandse prijsvechter Li-Ion-powerbanks van bescheiden afmetingen tegen. Deze zijn eigenlijk bedoeld om onderweg je tablet of mobiele telefoon aan het nood-infuus te kunnen leggen als je vergeten bent om 'm op te laden, maar ik zag er meteen mooie voedingen én lampvoet-

jes voor de USB-lampjes in. "Een kleine snoerloze bureau-/lees-/bedlamp kan altijd wel eens van pas komen", was de gedachte. En voor de paar euro die het bij elkaar kost... Met de op de verpakking beloofde capaciteit van 2000 mAh moet zo'n powerled met een gemeten stroomverbruik van ongeveer 65 mA zo'n 30 uur blijven branden.

Thuis meteen de powerbank uit de verpakking gehaald, spotje erop aangesloten en zoals verwacht, werkte het meteen perfect. Ondanks het feit dat zo'n powerbank niet volledig geladen in de winkel ligt, bleef het licht toch een paar uur branden. Experiment geslaagd, niets schokkends aan de hand of iets om trots op te zijn, maar toch leuk. De powerbank werd



Figuur 1. Het vermoedelijke schema van de elektronica in de powerbank.

vervolgens met het bijgeleverde USB-kabeltje volledig opgeladen, klaar om eens te testen hoe lang het spotje oplicht op een volle powerbank. Het antwoord op die vraag was even verbazingwekkend als teleurstellend: ongeveer tien seconden!

Natuurlijk eerst gecontroleerd of de powerbank echt wel opgeladen was en toen dat het geval bleek, drong het besef door dat in die kleine behuizing toch wel iets meer moet zitten dan een accu en wat elektronica die ervoor zorgt dat deze netjes (en veilig?) wordt geladen. De zeer summere handleiding — ja, soms ga je zoiets lezen — weet te melden dat de powerbank na enkele seconden automatisch uitschakelt “zodra de smartphone volledig is opgeladen”. Daarmee lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de powerbank afschakelt zodra de uitgangsstroom onder een bepaalde drempel komt. Het spotje trekt dan blijkbaar te weinig stroom, waardoor de powerbank het voor gezien houdt. En inderdaad: met een tweede spotje via een USB-splitterkabel op een en dezelfde powerbank aangesloten blijven de spotjes wel aan. Tot zover lijkt het logisch en aannemelijk. Alhoewel... Waarom werkte het de eerste keer met spullen die nieuw uit de verpakking kwamen dan wel? Het lijkt erop dat te maken heeft met een (te?) volle accu, want na een tijdje ontladen werkt het wel weer met één spotje, net zoals in het begin dus.

Natuurlijk wilde ik daar het fijne van weten en besloot de behuizing te openen om te zien wat erin zit. Dat was eigenlijk wel een linke klus: het metalen deksel was stevig vastgelijmd op de Li-Ion accu en het is best gevaarlijk als je die beschadigt of kortsluit (“Don’t try this at home!”). Maar de operatie slaagde gelukkig zonder ongelukken. Naast de accu zat een klein printje dat meer elektronica bevatte dan ik verwacht had: twee LED’s, wat weerstanden, condensatoren en zowaar een spoeltje en drie kleine IC’s met rugnummers TP4303, DW01 en 8205A. Een korte zoektocht op internet naar de typenummers leverde een schema op dat zo goed als zeker het juiste is ([2], **figuur 1**). Niet dat ik de moeite heb genomen om alle verbindingen en componentwaarden te controleren, maar ik denk niet dat aan deze massaproducten veel tijd en geld wordt besteed om er speciale elektronica voor te ontwikkelen.

Het gedeelte rond de DW01A en 8205A is duidelijk. Dit circuit beveiligt de accu tegen overladen en diep-ontladen en biedt bescherming tegen (te) grote stromen. De datasheets zijn gewoon op internet te vinden ([3] en [4]) en bieden voldoende informatie om te kunnen concluderen dat deze niet voor het uitschakelen zorgen als de uitgangsstroom te klein wordt. Bovendien is er geen functie te vinden die pas na een paar seconden ingrijpt. Dit moet dus in het derde IC gebeuren, de TP4303.

Het standaardschema dat als applicatie in de datasheet van de TP4303 staat, verduidelijkt wat dit IC doet: het is een stepdown-regelaar voor het laden van de accu en tegelijk een step-up-converter voor de uitgang van de powerbank. De Chinese tekst van de datasheet ([5], een Engelse versie heb ik niet kunnen vinden) komt verrassend goed leesbaar uit Google Translate. Hierin staat inderdaad dat dit IC na 16 seconden uitschakelt als de belasting wordt afgekoppeld of als de ontladestroom te klein is, maar helaas wordt niet vermeld bij welke ampèrage de drempel ligt. Vreemd genoeg biedt de TP4303

## ▶ Don’t try this at home



ook beveiligingen, onder meer tegen te grote stromen, te diep ontladen en te hoge accuspanning, maar in de datasheet wordt al vermeld dat een extra beveiliging met een DW01 — zoals in deze powerbank — altijd mogelijk is. Dat klinkt eerlijk gezegd alsof TPower zelf niet veel vertrouwen heeft in de bescherming die de TP4303 zelf biedt. En wellicht dat het daarmee misgaat: dubbele beveiligingen die elkaar in de weg zitten? Het lijkt erop dat de elektronica na volledig opladen bij een kleine belasting een te hoge accuspanning detecteert en dat een grotere ontladestroom net voldoende is om de spanning onder die beveiligingsdrempel te laten zakken. Zodra de accu een beetje ontladen is, blijft de powerbank wél ingeschakeld als er slechts één spotje is aangesloten.

Ik moet bekennen dat de zin om verder te graven een beetje over was. De verklaring voor dit fenomeen klinkt plausibel, maar ik heb verder niet gemeten en gecontroleerd of ik het echt bij het rechte eind heb. Een fout in het ontwerp kun je het niet noemen. Als je de powerbank gebruikt voor het opladen van een telefoon of tablet, werkt hij gewoon zoals het hoort. Maar ik keek er wel raar van op toen mijn LED-spotje zo snel uit ging. ◀

(160472)

### Weblinks

- [1] [www.elektormagazine.nl/160441](http://www.elektormagazine.nl/160441)
- [2] [www.alexanderb.tk/index.php/2017/02/06/hacking-a-powerbank-to-use-as-a-pi-ups](http://www.alexanderb.tk/index.php/2017/02/06/hacking-a-powerbank-to-use-as-a-pi-ups)
- [3] [www.haoyuelectronics.com/Attachment/TP4056-modules/DW01-P\\_DataSheet\\_V10.pdf](http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/TP4056-modules/DW01-P_DataSheet_V10.pdf)
- [4] [www.maritex.com.pl/product/attachment/91261/8205A.pdf](http://www.maritex.com.pl/product/attachment/91261/8205A.pdf)
- [5] [www.datasheetspdf.com/pdf/949049/TPOWER/TP4303/1](http://www.datasheetspdf.com/pdf/949049/TPOWER/TP4303/1)

# Timers voor de WiFi desktop-thermostaat

## zeven kanalen met atoomprecisie

Hoewel de WiFi desktop-thermostaat uit Elektor januari/februari 2018 in alle opzichten een flexibel apparaat is, valt er altijd nog wel wat te verbeteren. Door timers toe te voegen wordt hij nog flexibeler.



Clemens Valens (Elektor-lab)

### Kenmerken

- Nieuwe firmware voegt zeven timers toe
- Werkdag- & weekendmodus
- Maximaal zeven single-shot events op elk gewenst moment in de toekomst
- Tot zeven dagelijkse events
- Temperatuursensor kan worden uitgeschakeld

Inderdaad, waarom zouden we de WiFi desktop-thermostaat [1] tot de desktop beperken? Het apparaat is nu al in staat om het verwarmingssysteem in uw huis te regelen, maar als we er enkele functies aan toevoegen, is hij nog beter geschikt voor deze taak. Om een voorbeeld te noemen: een timer, en dan vooral een die kan worden geprogrammeerd voor elke dag van de week, is een prima uitbreiding voor het regelen van de temperatuur in

uw huis. Naast timers zullen we ook de mogelijkheid toevoegen om de temperatuursensor uit te schakelen, zodat de thermostaat zuiver als timer met internetconnectiviteit kan functioneren.

### Haal de tijd van internet

Een timer moet weten hoe laat het is (nou ja — afgezien van eierwekkers). Als u echter naar het schema van de thermostaat kijkt, zult u geen realtime-klok of een

ander tijdbepalende schakeling aantreffen. Natuurlijk is het mogelijk om er een toe te voegen, maar in dit tijdperk van internet-connectiviteit is dat niet langer nodig aangezien de exacte tijd gratis beschikbaar is op het net. We hoeven alleen ondersteuning voor een Network Time Protocol (NTP) aan de software toe te voegen. Een paar jaar geleden was dat nog een hoop werk, maar omdat onze thermostaatsoftware in de Arduino-programmeeromgeving is ontstaan, komt het toevoegen van NTP-ondersteuning (figuur 1) neer op het kopiëren van een Arduino-voorbeeld in onze code, waarna we dat slechts een beetje hoeven aan te passen.

### Zeven timers

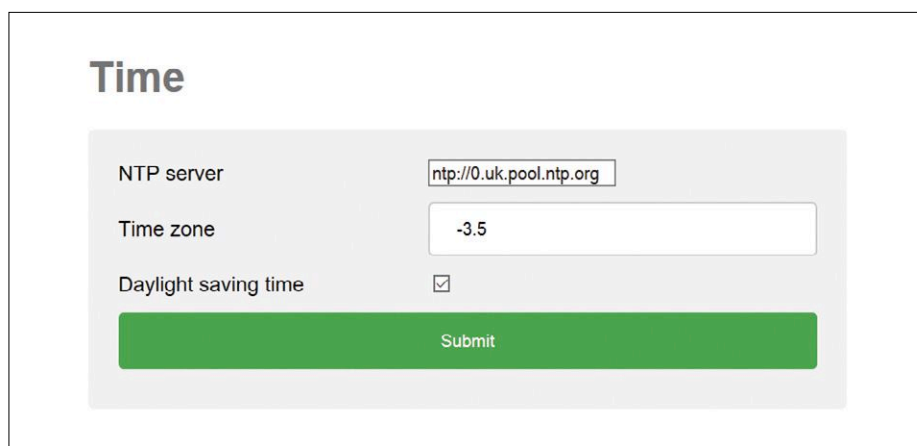
Zodra de applicatie weet hoe laat het is, kan deze deze tijd vergelijken met een vooraf ingestelde tijd en de uitgang van de thermostaat activeren (of deactiveren). Aangezien de gebruikersinterface (UI) van de thermostaat een webpagina is en omdat onze ESP-12F-module veel geheugen over heeft, is er geen reden om ons te beperken tot slechts één preset. Net zoals het toevoegen van NTP-ondersteuning is het maken van meerdere presets niet veel moeilijker dan het kopiëren en plakken van de code voor een enkele preset. Om praktische redenen hebben we het aantal presets beperkt tot zeven.

### Timer-modi

Elke timer kan worden gekoppeld aan een dag van de week en voor elke timer kan de start- en stoptijd worden ingesteld (figuur 2). Dat betekent dat we voor een hele week zeven timers moeten hebben. Als uw werkweek echter van maandag tot en met vrijdag is en

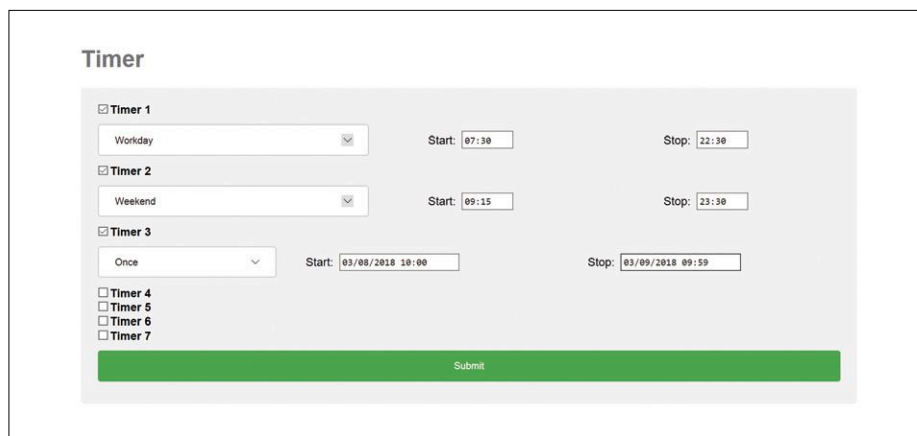
uw weekenden zijn op zaterdag en zondag, en als u kunt leven met één preset voor de werkdagen en één voor het weekend, dan hebt u slechts twee timers nodig: één als 'werkdag' en de andere als 'weekend'. Als de thermostaat elke dag hetzelfde moet herhalen dan kan een timer worden ingesteld als 'elke dag'. Ten slotte kunnen door het instellen van de start- en stopdatum en -tijd in een kalender (modus 'eenmaal', tabel 1) timers worden geprogrammeerd om ergens in de toekomst met een programmeerbare duur te worden geactiveerd.

Er kunnen maximaal zeven timers worden geprogrammeerd en deze mogen elkaar overlappen omdat ze parallel lopen. Het is ook mogelijk meerdere timers zo te programmeren dat ze op dezelfde dag geactiveerd worden, net als het programmeren van maximaal zeven toekomstige 'events'. Al met al zijn de timers behoorlijk flexibel.



Figuur 1. De nieuwe 'Time'-sectie van de gebruikersinterface-sectie is vereist om de NTP-server in te stellen. Houd er rekening mee dat de zomertijd (Daylight Saving Time, DST) handmatig moet worden ingesteld omdat deze niet gemakkelijk via het internet kan worden opgehaald.

Tabel 1. Elf modi maken de timers flexibel.	
Nr	Modus
0	Once (eenmaal)
1	Monday (maandag)
2	Tuesday (dinsdag)
3	Wednesday (woensdag)
4	Thursday (donderdag)
5	Friday (vrijdag)
6	Saturday (zaterdag)
7	Sunday (zondag)
8	Every day (elke dag)
9	Workday (werkdag: ma, di, wo, do, vr))
10	Weekend (weekend: za, zo)



Figuur 2. Drie timers gemarkeerd als actief en geprogrammeerd voor werkdag-/weekend-gebruik samen met een eenmalige timer.

## Thermostat

Units Celsius

High

Low

Switch on

Manual no

Submit

Figuur 3. Door bij 'Switch on' de optie 'Timer' te selecteren, wordt de thermostaatmodus uitgeschakeld en wordt het apparaat een pure timer.

### Meer dan een thermostaat

Omdat het een thermostaat is, wordt zijn uitgang alleen ingeschakeld als de gemeten temperatuur voldoet aan bepaalde criteria zoals gedefinieerd door de waarde in het veld 'Switch on' van de sectie 'Thermostat' in de gebruikersinterface. Door de waarde 'Timer' toe te voegen (figuur 3), kan de thermostaat worden opgedragen om de temperatuursensor te negeren en de uitgang uitsluitend door de timers te laten besturen. Dit is een prima modus voor het schakelen van verlichting en jaloezieën terwijl u op vakantie bent of om de kerstversiering te regelen. En u hebt vast genoeg fantasie om andere toepassingen te bedenken.

### Verval niet in herhalingen

Laten we eens kijken hoe de timers worden geïmplementeerd. Zoals u zich misschien herinnert uit [1] is de gebruikersinterface geschreven in HTML, JavaScript en CSS (en praat hij met een toepassing die is geschreven in C++). Wanneer we op een naïeve manier zeven timers zouden toevoegen, dan zouden we zeven keer vrijwel identieke code moeten invoegen. In *software engineering* moet dit te allen tijde worden vermeden, omdat het een prima manier is om bugs te introduceren en moeilijk te onderhouden code te genereren. Dit programmeerprincipe, bekend als "do not repeat yourself" of

DRY (vertaald: "verval niet in herhalingen"), is moeilijk vol te houden als het HTML betreft. Dat is de reden dat er allerlei soorten interfaces, adapters en add-ons zijn bedacht zoals JavaScript en stylesheets. We hebben daarom onze timer in JavaScript gedefinieerd en zeven plaatshouders in de HTML-pagina gezet. Alleen wanneer een timer is gemarkeerd voor gebruik (het selectievakje is aangevinkt) wordt de HTML-code ervoor gegenereerd en ingevoegd op de pagina, waar hij zich dan gedraagt alsof hij er altijd al was. Bijgevolg moet het aanpassen van de timer in het JavaScript-bestand worden gedaan, terwijl het toevoegen of verwijderen van timers in het HTML-bestand plaatsvindt. Dit betekent ook dat wijzigingen alle timers op dezelfde manier beïnvloeden.

De JavaScript-code — aan het eind van het bestand script.js — produceert voornamelijk HTML-code (zie de functie timerBuild) aangepast voor elke timer, zodat elke timer unieke variabelennamen gebruikt. Dit is natuurlijk nodig voor de C++-toepassing om ze uit elkaar te kunnen houden. De enige complicatie in de code is de manier waarop de starten/stop-tijdvakken worden gewijzigd in overeenstemming met het geselecteerde type timer. Een toekomstige gebeurtenis ('eenmaal') heeft zowel datum als tijd nodig, terwijl dagelijks terugkerende

'werkdag'- en 'weekend'-evens alleen de tijd nodig hebben. De functie timerChange zorgt hier voor. Het invoegen van de HTML-code in de gebruikersinterface wordt gedaan door de functie timerShow.

### Aanpassen van de thermostaat

Het compileren van de nieuwe software en het programmeren van de ESP-12F is in detail beschreven in [1]. Het enige wat u niet moet vergeten, is om de oude thermostaatbestanden te vervangen door de nieuwe bestanden die u kunt downloaden van [2].

### Internetbrowsers

De gepresenteerde HTML-code is geverifieerd met de W3C Markup Validation Service [3] en werd vrij van fouten en waarschuwingen bevonden, met uitzondering van de datum/tijdkiezers die niet door elke internetbrowser op de markt worden ondersteund. Het werkte prima op onze testcomputer met Google Chrome (versie 63.0.3239.84) en Microsoft Edge (versie 41.16299.15.0). Ik heb de gebruikersinterface niet aan de praat gekregen in Internet Explorer 11 (11.125.16299.0), zelfs niet nadat ik allerlei tips van het net had geprobeerd. Ik raad daarom deze browser niet aan. Laat het me weten als u een suggestie hebt om dit probleem op te lossen.

Houd er rekening mee dat de gebruikersinterface van de thermostaat JavaScript gebruikt en mogelijk in conflict komt met de beveiligingsinstellingen van uw browser. ◀

(160631)

### Weblinks

- [1] Wi-Fi Desktop Thermostat: [www.elektormagazine.nl/160269](http://www.elektormagazine.nl/160269)
- [2] Projectpagina van dit artikel: [www.elektormagazine.nl/160631](http://www.elektormagazine.nl/160631)
- [3] W3C HTML validator: <https://validator.w3.org/>

## IN DE STORE

→ 160631-1  
Kale print voor de WiFi desktop-thermostaat

→ 160100-92  
ESP-12F ESP8266-based WiFi module

→ 080213-71  
USB/TTL seriële converter, 5 V



**electronica**  
**fast forward**  
powered by elektor

the startup platform

**INTRODUCEER UW PRODUCT**

OP DE

**INTERNATIONALE  
MARKT**

● **Schrijf u in voor 2018**

13-16 november 2018  
München

electronica Fast Forward wordt u aangeboden door

Voor meer informatie:  
[www.elektormagazine.com/e-ffwd](http://www.elektormagazine.com/e-ffwd)



**electronica**



**elektor**

# Accu's correct laden

## over batterijtypen en oplaadstrategieën

Dr. Thomas Scherer (Duitsland)

Als het gaat over oplaadbare accu's en de vraag hoe die het best kunnen worden geladen, dan circuleren zelfs bij technici die als bijzonder nuchter bekend staan allerlei halve waarheden. Dat is nog erger bij niet-technici: mythen, misverstanden en halfgare veronderstellingen vieren hoogtij. En dat terwijl batterijen en accu's tegenwoordig overal te vinden zijn en het 'internet' toch een potentiële bron van informatie is. Hieronder geven we daarom een korte samenvatting van de belangrijkste feiten.







Figuur 1. Lood-gel-accu van 12 V en 4,5 Ah. Zulke accu's voeden bijvoorbeeld waarschuwingslampen voor het beveiligen van bouwplaatsen.



Figuur 2. De geopende hybride-accu van mijn voormalige Prius II: 28 modules met elk zes prismatische NiCd-cellen van Panasonic van elk 1,2 V en 6,5 Ah in serie; dat levert 201,6 V met een energie-inhoud van 1,3 kW bij een gewicht van 39 kg.

Vijftig jaar geleden had het onderwerp nog lang niet dezelfde relevantie als vandaag. Onder accu werd toen in de eerste plaats de 'auto-accu' verstaan, omdat het vierwielige voertuig met interne verbrandingsmotor een elektromotor als starter aan boord had, die werd aangedreven door opgeslagen elektrische energie. Verder was er vrijwel geen elektrisch apparaat in het dagelijks leven met oplaadbare (zogenaamde secundaire) cellen. Voor transistorradio's en zaklantaarns — veel andere draagbare apparaten waren er toen niet — werden primaire cellen, vooral zink-koolstof-batterijen en later ook de meer stabiele alkalische mangaancellen gebruikt.

Daarna ging het heel snel: al in de jaren tachtig werden nikkel-cadmium-accu's populair in primaire celcompatibele behuizingen (vooral in de maat AA = Mignon) en zoals te

verwachten waren er veel schema's en bouwstructies voor NiCd-laders, omdat het vrij eenvoudig was, ondanks een lagere nominale spanning, de eenmalige primaire cel door een NiCd te vervangen en zodoende geld te besparen. In de jaren negentig werden NiCd-accu's in toenemende mate vervangen door de betere NiMh-accu's (nikkel-metaalhydride). Sinds 2017 zijn NiCd-cellen zelfs 'verboden' in Europa, dus ze mogen niet langer overal worden verkocht, behalve voor speciale doeleinden.

En de elektronica werd steeds draagbaarder: Sony's Walkman (voor de jongeren onder ons: een draagbare cassettespeler) werd opgevolgd door de MP3-speler, de desktop-PC werd opgevolgd door de draagbare laptop, opeens kon je overal mobiel telefoneren en met de huidige smartphones kan je zelfs computeren. Fietsen rijden nu elektrisch en in toenemende mate ook auto's. Voor al deze en nog veel meer apparaattypen zijn batterijen nodig. Net zo verschillend als de toepassingen zijn de batterijtypen en hun kenmerken.

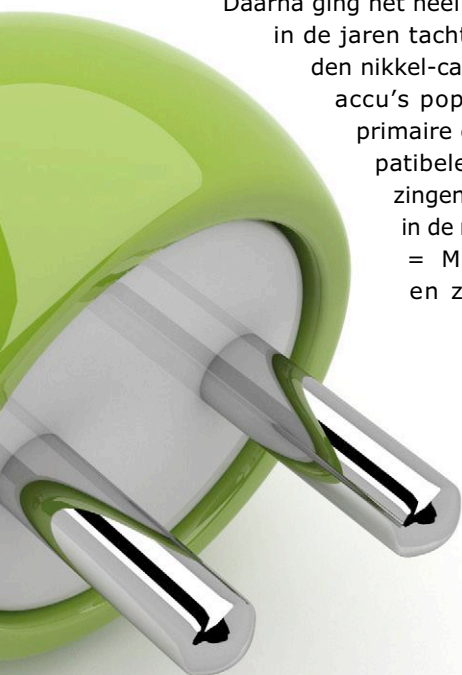
### Accutypen

We beginnen met een beetje terminologie: de term batterij is (meestal) synoniem met primaire cel. De belangrijkste uitzondering is de auto- of start-accu, dat is een secundaire cel en een secundaire cel is een accu. De term accu komt van het Latijnse *accumulare* en betekent niets anders dan verzamelaar. De term batterij is echter afkomstig van het

Frans en duidt op een rij kanonnen en ander oorlogstuig, wat zich in het Engels ontwikkelde tot de term voor in serie geschakelde primaire cellen. En tegenwoordig wordt in het Engels alles wat een DC-spanning genereert met behulp van chemische reacties, zonder uitzondering voor 'battery' uitgesloten. Nu dit is verduidelijkt, gaan we over tot de hedendaagse veel voorkomende accutypen:

Met meer dan 160 jaar is de **lood-zwavelzuur-accu** (zie **figuur 1**) zeker het oudste praktische batterijtype ooit. Hij heeft een typische celspanning van 2 V en werd al in 1900 voor de aandrijving van auto's toegepast. Trouwens, van de veelgeprezen Lohner-Porsche [1] was er in hetzelfde jaar al de eerste hybride versie — hallo Toyota! Een andere vroege toepassing was de voeding van telegraaf- en telefoniekantoren. De loodaccu is nog steeds zo modern of in elk geval zo ongeveer goedkoop en robuust dat hij nog altijd, ondanks een hoog gewicht en andere zwakke punten, gebruikt wordt als energiebron voor het starten van verbrandingsmotoren.

Ook de **NiCd-accu** (zie de hybride accu van **figuur 2**) heeft met meer dan 100 jaar een respectabele leeftijd. Vooral de kleine cellen waren in de jaren '80, ondanks de nominale spanning van slechts 1,2 V, de meest populaire accutypen voor de voeding van consumentenelektronica. Omdat hij grote stromen kon leveren was hij tot voor kort niet





Figuur 3. Defect NiMh-accupakket van een kruimeldief. De gepuntlaste cellen leverden ooit 9,6 V bij 1,3 Ah.



Figuur 4. Lithium-polymeer-accu van het type 5s1p met 18,5 V bij 5 Ah en een piek-ontladingstroom van 15 C = 75 A voor RC-modellen. De kleine zespolige stekker is voor het aansluiten van een balancer.



Figuur 5. De typische lithium-accu met het formaat 18650 op basis van  $\text{LiCo}_2$ -chemie. Deze wordt steeds vaker ook in zaklampen of de betere solarlampen voor de tuin toegepast. In plaats van 3,6 V is hier 3,7 V als nominale spanning opgedrukt.



Figuur 6. Het 45-V-LiFePO<sub>4</sub>-pakket uit mijn Segway-kloon: 14 cellen van het formaat 38120 van 9 Ah en 10 C met balancer (op de voorgrond).

alleen de standaard-energiebron voor accuboormachines en RC-modellen — ook Toyota bleef tot de Prius III bij deze accutechnologie voor de eigen hybride aandrijvingen. De grootste nadelen zijn de milieuproblemen (cadmium) en het zogenaamde geheugeneffect.

Wat goed is kan nog beter: voor consumentenapparaten hebben de goedkope **NiMh-accu's** (zie **figuur 3**) de plaats van NiCd-accu's ingenomen; deze worden pas 35 jaar industrieel vervaardigd. Met dezelfde nominale spanning van 1,2 V zijn ze de ideale vervanging voor NiCd-accu's. Ze zijn veel milieuvriendelijker, hebben geen geheugeneffect, hebben een acceptabele energiedichtheid en zijn goedkoop. Ze zijn wel iets moeilijker te laden. Sinds een tiental jaren bestaan er NiMh-accu's met een zeer geringe zelfontlading.

Een nieuwere accu-technologie is gebaseerd op het chemische element **Lithium**. Hiermee is het mogelijk om accu's te produceren met een bijzonder grote vermogensdichtheid en een lage vermogen/gewicht-verhouding — factoren die even belangrijk zijn voor mobiele apparaten (laptops, tablets en smartphones) als voor elektromobiliteit. Drie typen zijn van praktisch belang: LiPo- of lithium-polymeeraccu's (**figuur 4**) vanwege de geringe afmetingen vooral voor mobiele apparaten, **LiCoO<sub>2</sub>**-cellen (**figuur 5**) en **LiFePO<sub>4</sub>**-typen (**figuur 6**) voor elektrische aandrijvingen. Met een nominale spanning van 3,7 V (LiPo), 3,6 V (LiCoO<sub>2</sub>) en 3,2 V (LiFePO<sub>4</sub>) verschillen ze sterk van de andere typen. Ze hebben geen geheugeneffect en een bijzonder geringe zelfontlading. Maar ze zijn gevoelig voor een aantal omgevingsomstandigheden, en zowel het laden als het gebruik zijn onderworpen aan strikte regels. Naast verschillende ronde cellen worden lithiumaccu's ook klantspecifiek voor mobiele apparaten vervaardigd en in prismatische behuizingen voor grotere capaciteiten. Aardig om te weten: in de elektrische auto's van Tesla zit op dit moment nog steeds een 'batterij' van duizenden ronde cellen van het type 18650 ...

De **RAM-accu** (AA-cel in **figuur 7**) is zeker de nieuwste ontwikkeling op de accu-markt: RAM staat voor **R**earchar**A**ble **A**lkali **M**anganese. Deze oplaadbare secundaire alkalinecellen zijn geschikt

voor de directe vervanging van primaire zink-koolstof of alkalimangaan cellen vanwege de nominale spanning van 1,5 V. Ze zijn echter alleen geschikt voor toepassingen met kleine ontladstromen, mogen absoluut niet diep worden ontladen en hebben een speciale laadapparaat nodig — een standaardlader voor NiCd- of NiMH-cellen is absoluut niet bruikbaar!

**Tabel 1** geeft een overzicht van accutypen plus de belangrijkste details, zoals het typische aantal laad/ontladingcycli (totdat de capaciteit is gedaald tot 80% of 75% van de nominale waarde) en de vermogensdichtheid wat voor veel toepassingen belangrijk is om te weten. In de dagelijkse praktijk minder gangbare typen en accu's die zich nog in de ontwikkelingsfase bevinden, evenals groot-schalige energieopslagsystemen zoals vloeistof-batterijen, worden hierna niet verder behandeld.

### Strategieën voor opladen

Niet alleen voor het gebruik (in termen van bedrijfsomstandigheden en in het bijzonder de maximale ontladstroom), maar ook wat betreft de maximale laadstroom, is het raadzaam om niet alleen de instructies van de fabrikant te vertrouwen, maar ze ook op te volgen. Niettemin zijn er typische kenmerken voor elk type batterij; ook voor de juiste of optimale oplaadstrategie. De belangrijkste aspecten zijn de robuustheid met betrekking tot diepe ontlading of overbelasting, evenals de genoemde maximale laadstroom en de eigenlijke laadstrategie (plus speciale aspecten zoals onderhoudslading of geheugeneffect).

**Lood-accu:** vooral bij dichte lood-gel-accu's, maar ook bij de zogenaamde



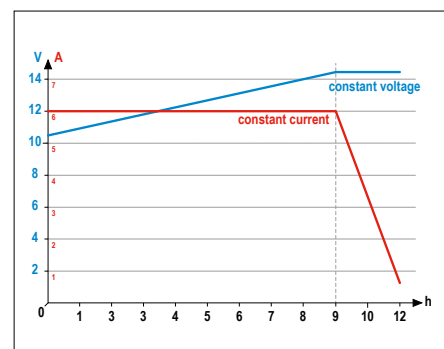
Figuur 7. Alkali/mangaan RAM-accu in de typische AA-behuizing. Dergelijke batterijen mogen nooit diep worden ontladen en hebben een speciale lader nodig.

'onderhoudsvrije' startaccu's, moet erop worden gelet dat ze niet worden overladen, zodat ze niet 'uitgassen'. Dit laatste kan leiden tot verlies van elektrolyt, dat niet of niet gemakkelijk kan worden vervangen, wat nadelig is voor de levensduur en de capaciteit. Bij 'open' lood-accu's (bijvoorbeeld voor heftrucks) is dat niet zo erg omdat je daar eenvoudig gedestilleerd water kunt bijvullen. Loodaccu's mogen niet diep worden ontladen: de celspanning mag niet lager worden dan 1,75 V. Dit is vooral relevant bij opslag vanwege de zelfontlading van ongeveer 2%/maand of meer, waardoor startbatterijen, bijvoorbeeld voor grasmaaiers, de lente vaak niet halen als er tussendoor niet wordt bijgeladen. Het standaard laadproces begint met een constante stroom. Bij een celspanning van 2,35 V wordt naar een constante spanning omgeschakeld totdat een minimumstroom wordt bereikt. Tenzij anders vermeld, bedraagt de laadstroom maximaal 0,1 C (10% van de capaciteit in Ah/h). Het laden wordt gestopt bij een stroom van  $\leq 0,01$  C.

Bij een standaard 12-V-startaccu van 60 Ah betekent dit: hij wordt opgeladen met een maximum van 6 A tot de

batterijspanning 14,1 V bedraagt; vervolgens wordt de spanning constant gehouden. Als de stroom lager wordt dan 0,6 A, kan het opladen beëindigd worden. De lader kan ook zonder problemen langer aangesloten blijven om de lading te behouden. **Figuur 8** toont een typische laadcurve van een dergelijke batterij volgens deze **CC/CV-strategie** (Constant Current / Constant Voltage).

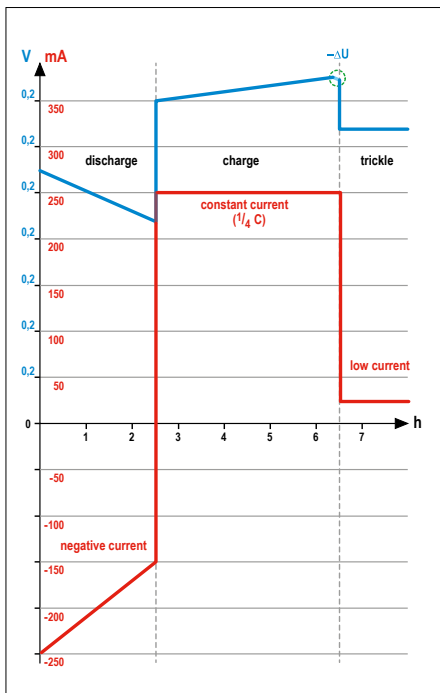
Een bijzonderheid van lood-zuur-accu's is dat hun capaciteit voortijdig kan afnemen als gevolg van zogenaamde sulfatisering.



Figuur 8. Geïdealiseerde kromme van het CC/CV-laden van een 12-V auto-accu van 60 Ah. De grafieken van lithium-accu's zien er hetzelfde uit.

**Tabel 1. Accutypen.**

Accutype	Nominale spanning	Aantal cycli	Vermogensdichtheid	Toepassing
LiCoO <sub>2</sub>	3,6 V	500 – 1.000	180 Wh/kg	aandrijvingen, grote stroomsterkte
LiPo	3,7 V	300 – 500	150 Wh/kg	mobiele apparaten
LiFePO <sub>4</sub>	3,2 V	1.000 – 5.000	100 Wh/kg	aandrijvingen, grote stroomsterkte
NiCd	1,2 V	600 – 1.500	50 Wh/kg	algemeen, grote stroomsterkte
NiMH	1,2 V	300 – 600	75 Wh/kg	algemeen
lood	2,0 V	300 – 500	35 Wh/kg	noodstroom, startaccu
RAM	1,5 V	50 – 500	50 Wh/kg	algemeen, kleine stroomsterkte



Figuur 9. Geïdealiseerde curve van het  $-\Delta U$ -laden van een NiCd-cel met een stroom van 0,25 C. Elke lading begint eerst met een ontlading om het geheugeneffect te voorkomen.

Om dit te voorkomen, zijn er laders die naast de onderhoudsstromen regelmatig een grote stroompuls van >100 A leveren gedurende een paar milliseconden, die de vorming van kristallen moet tegen gaan en zelfs teniet doen. Ook in Elektor zijn veel van dergelijke schakelingen gepubliceerd.

#### NiCd-accu:

Al heel lang waren hier eenvoudige laders gebruikelijk die eenvoudigweg met een geringe constante stroom laden. In het bijzonder doen de netstekersladers van apparaten zoals een elektrische pepermolen of een kruimeldief vaak niets anders dan de AA-cellen met een capaciteit van 1 Ah eerst met 0,1 C en daarna permanent met bijvoorbeeld 50 mA te laden. De NiCd-chemie zal deze overlading een tijdje verdragen, maar het zal uiteindelijk toch schaden. Om deze reden, en ook

vanwege de snellere oplaadtijd, is een oplaadtechniek bedacht, die  $-\Delta U$  wordt genoemd. Deze techniek maakt gebruik van het feit dat een volledig opgeladen batterij het teveel aan elektrische energie omzet in warmte, en die stijgende temperatuur leidt vervolgens tot een kleine 'deuk' in de laadcurve (zie **figuur 9**). Het laadcircuit detecteert dan eenvoudig het punt waar de spanning begint te dalen. Dergelijke laders kunnen ook snel laden. Een lading van 0,5 C of meer in minder dan drie uur is geen probleem voor cellen die daarvoor geschikt zijn. NiCd-cellen houden ook niet van diepe ontlading en moeten vanaf 0,9 V per cel worden opgeladen.

Een speciale onhebbelijkheid van de NiCd-technologie is het reeds genoemde **geheugeneffect**. Een NiCd-accu die vaak gedeeltelijk wordt ontladen en vervolgens wordt opgeladen lijkt die lagere laadcapaciteit te onthouden, waarna de bruikbare capaciteit steeds verder afneemt. Technische achtergrond is de vorming van microkristallen van cadmium. Dit kan worden omgekeerd door meerdere ontladingen tot minder dan 0,9 V per cel. Beter 'microprocessorladers' houden hier rekening mee en starten een laadcyclus eerst met een volledige ontlading.

#### NiMh-accu:

In principe geldt wat voor de NiCd-accu wordt gezegd ook voor de NiMh-opvolger. Deze wordt ook met  $-\Delta U$  geladen. De spanningsval is echter kleiner dan bij NiCd, vooral bij kleinere laadstromen. Dus wordt met nog grotere stromen geladen. Het is dus goed dat de interne weerstand van NiMh-accu's lager is en een hogere laadsnelheid met maximaal 1 C mogelijk is. Voor de zekerheid hebben snelladers ook een temperatuurbewaking voor het geval dat de spanningsdaling niet wordt gedetecteerd wanneer de accu volledig is opgeladen. Prettige bijkomstigheid: aangezien de NiMh-technologie geen geheugeneffect heeft, hoeft een oplaadcyclus niet te beginnen met

een ontladingsfase. NiMh-compatibele laders activeren daarom alleen op verzoek een ontlading. Vooral bij de nieuwere NiMh-cellen met geringe zelfontlading kan de onderhouds-lading aan het einde volledig vervallen. In **figuur 9** kan men de gebieden links en rechts van de twee verticale stippellijnen wegdenken. **Figuur 10** toont een universele NiCd/NiMh-snellader voor vier AAA- of AA-cellen.

#### Lithium-accus:

Bij alle drie subtypen wordt, net zoals bij de loodaccu, meestal de CC/CV-methode gebruikt voor het opladen. In **figuur 8** moet men alleen de spanningen anders interpreteren en vanwege de zeer geringe zelfontlading van <1% per maand hoeft er geen onderhouds-lading gebruikt te worden. Afhankelijk van het beoogde gebruik van de cellen, kunnen de laadstromen aanzienlijk hoger zijn dan bij andere typen oplaadbare accu's. Zoals van de Tesla bekend, is het bij hoogvermogen LiCoO<sub>2</sub>-cellen mogelijk om 80% van de capaciteit in 20 minuten te laden, wat overeenkomt met een laadstroom van 2,7 C. Maar de laatste fase met constante spanning duurt langer en de accu is pas na 40 minuten of langer vol. De USB-lader van **figuur 11** laadt een 18650-accu van 2,4 Ah met 0,5 A = 0,2 C. Let op: voor diepe ontladen cellen moet tot een bepaalde drempelwaarde eerst met maximaal ≤0,5 C worden geladen.

Geheugeneffect en andere nare eigenschappen zijn onbekend bij de lithium-typen. Maar je moet ze beslist niet te diep ontladen. Voor type-18650 (18 mm diameter en 65 mm lengte) LiCoO<sub>2</sub>-cellen zijn er versies met geïntegreerde elektronica (**figuur 12**) die beschermen tegen te diep ontladen, overbelasting en kortsluiting. Een geweldige oplossing voor gebruik in zaklampen en dergelijke. Maar dat veroorzaakt wel een iets hogere inwendige weerstand.

De drie subtypen verschillen hoofdzakelijk wat betreft de spanningen; die zijn in

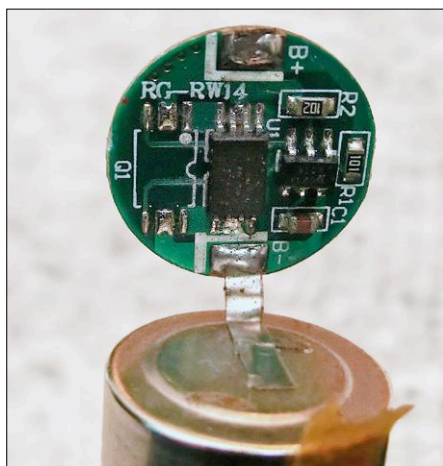
Tabel 2. Waarden voor Lithium-accu's.					
Accutype	Nominale spanning	Stoppen met laden bij	0,5-C-drempel	Niet verder ontladen bij	Diepontlading
LiCoO <sub>2</sub>	3,6 V	>4,1 V	2,9 V	3,0 V	<2,5 V
LiPo	3,7 V	>4,2 V	3,0 V	3,2 V	<2,6 V
LiFePO <sub>4</sub>	3,2 V	>3,7 V	2,4 V	2,5 V	<2,0 V

**tabel 2** vermeld. Tenzij anders aangegeven door de fabrikant, kan men met een maximale laadstroom van 0,5 C en uitschakelen in de constante spanningsfase bij een stroom van 0,05 C, niet veel fout doen. Uitschakelen wordt aanbevolen omdat lithium-accu's over het algemeen niet langer mogen worden blootgesteld aan de maximale spanning.

Het laden van lithiumcellen is geen probleem — als u individuele cellen laadt. In serie schakelen van meerdere cellen vereist een zogenaamde balancer, die ervoor zorgt dat de cel met de minste capaciteit niet wordt overbelast en dus wordt beschadigd. De LiPo-accu van figuur 4 heeft een eigen plug en bij de zelfgebouwde LiFePO<sub>4</sub>-accu van figuur 6 zien we een bijzonder krachtig type balancer dat ook grotere stromen kan verwerken. Balancerings technieken en -schakelingen vormen een afzonderlijk, nogal complexe tak van de techniek.

#### RAM-accu:

De benodigde opladers werken met een speciale strategie. Het laden gebeurt aanvankelijk met een relatief lage constante stroom (rond 0,1 C) die periodiek wordt onderbroken gedurende enkele milliseconden om dan de onbelaste celspanning te meten. Als die meer is dan 1,73 V wordt gewacht totdat de spanning tot onder de 1,69 V daalt, waarna weer weer iets wordt bijgeladen. Het is daarom belangrijk dat de cel niet wordt overbelast en vooral niet diep ontladen wordt. Al bij 1,42 V per cel is het afgelopen. Om deze reden zal dit type batterij waarschijnlijk niet de overhand krijgen,



Figuur 12. De geïntegreerde elektronica in een 18650 LiCoO<sub>2</sub>-cel beschermt tegen diep ontladen en overladen.



Figuur 10. Goedkope kleine lader voor LiCo<sub>2</sub>-cellen van het formaat 18650 met USB-aansluiting en display met organische LEDs.

tenzij er exemplaren met ingebouwde beveiligingselektronica komen.

#### Algemeen

Sinds er microcontrollers bestaan, zijn schakelingen voor meer complexe opladers niet langer een echt probleem. De hier gegeven informatie is in principe voldoende om een geschikte oplaadschakeling te ontwikkelen voor elk type batterij dat hier is genoemd. Wat een zelfontwikkelde lader zeker zou moeten hebben is afschakeling na een bepaalde tijd. Als al het andere faalt en het einde van het laden (bijvoorbeeld door een defecte batterij) niet wordt herkend, is het beter, zeker bij lithiumtypen, na een bepaalde tijd uit te schakelen, anders wordt de elektrische energie omgezet in warmte en kunnen vooral LiPo-accu's in brand vliegen. Denk in dit verband aan de ongelukken met de batterijen in de Dreamliner 787 van Boeing. 25% extra op de berekende tijd is een werkbare waarde. Bij laders voor loodaccu's van de luxeklasse is een sensor voor de omgevingstemperatuur niet verkeerd, waarmee men het temperatuur-verloop van de eindladings-spanning van circa 3 mV/K kan compenseren.



Figuur 11. Intelligente snellader voor vier NiCd- of NiMH-cellen van het formaat AA en AAA met een stroom tot 0,8 C, deze herkent zelfs defecte cellen. Met een druk op de blauwe knop worden de accu's voor het laden eerst ontladen.

Voor speciale of zelfgebouwde batterijpakketten loont zelfbouw zeker. Bij standaard cellen met het formaat AA, AAA of 18650 is een kant en klaar massaproduct goedkoper. ◀

(160526)

#### Weblink

[1] Lohner-Porsche:  
<http://press.porsche.com/news/release.php?id=642>

#### De auteur

Dr. Thomas Scherer is elektronicus en afgestudeerd psycholoog en werkt al meer dan 30 jaar voor Elektor. Hij is gespecialiseerd op analoge elektronica, microcontroller-technologie en psycho-fysiologisch onderzoek. Hij heeft een vrij groot elektronicalab en vertoef daar bijna dagelijks om iets te schroeven, te solderen of uit te proberen.

# de Elektor-community

LEARN → DESIGN → SHARE

83

landen

248342

leden

1045

experts & auteurs

514

publicaties

250000

maandelijkse  
bezoekers

Elektor is meer dan een magazine: het is een community van actieve elektronica-ingenieurs (van beginners tot pro's) die allemaal willen leren, ontwerpen en delen met vakgenoten.



**Elektor Web Store:** de 24/7 snoepwinkel voor iedere electronica-ingenieur!  
10% korting voor Green- en Gold-members:  
[www.elektor.nl](http://www.elektor.nl)



**Elektor Magazine:** zes maal per jaar een lekker dik blad in de bus  
Boordevol electronica-nieuws, reviews, tips- en trucs: [www.elektormagazine.nl](http://www.elektormagazine.nl)



**Elektor PCB Service:** bestel uw eigen printen!  
Zowel voor prototypes of grotere aantallen:  
[www.elektorpcbservice.com](http://www.elektorpcbservice.com)



**Elektor wekelijks & digitaal:**  
uw gratis wekelijkse e-zine.  
[www.elektor.nl/inschrijven](http://www.elektor.nl/inschrijven)



**Elektor Academy:** webinars, seminars, presentaties, workshops, DVD's...  
Praktijkgericht leren:  
[www.elektor.nl](http://www.elektor.nl)



**Elektor Boeken:** o.a. Arduino, Raspberry Pi, ESP32, IoT en Linux  
Verkrijgbaar in onze Web Store met 10% leden-korting: [www.elektor.nl/boeken](http://www.elektor.nl/boeken)



**Elektor TV:** reviews, time lapse, unboxing en eigen Journaals  
Kijken is leren:  
[www.elektor.tv](http://www.elektor.tv)



**Elektor Labs:** eigen projecten tonen, leren van anderen  
Wij ontwikkelen en testen zelf!  
[www.elektormagazine.nl/labs](http://www.elektormagazine.nl/labs)

## Plug in op onze community

### GREEN € 1,78/week

- ✓ Toegang tot ons web-archief
- ✓ 10% korting in onze webshop
- ✗ 6x Elektor Magazine (Print)
- ✓ 6x Elektor Magazine (PDF)
- ✓ Exclusieve aanbiedingen
- ✓ Toegang tot meer dan 1000 Gerberfiles
- ✗ Elektor's jaarlijkse DVD-ROM

▶ WORD LID

[www.elektor.nl/green-lidmaatschap](http://www.elektor.nl/green-lidmaatschap)

### GOLD € 2,45/week

AANRADER

- ✓ Toegang tot ons web-archief
- ✓ 10% korting in onze webshop
- ✓ 6x Elektor Magazine (Print)
- ✓ 6x Elektor Magazine (PDF)
- ✓ Exclusieve aanbiedingen
- ✓ Toegang tot meer dan 1000 Gerberfiles
- ✓ Elektor's jaarlijkse DVD-ROM

▶ WORD LID

[www.elektor.nl/gold-lidmaatschap](http://www.elektor.nl/gold-lidmaatschap)

### GRATIS

- ✗ Toegang tot ons web-archief
- ✗ 10% korting in onze webshop
- ✗ 6x Elektor Magazine (Print)
- ✗ 6x Elektor Magazine (PDF)
- ✓ Exclusieve aanbiedingen
- ✗ Toegang tot meer dan 1000 Gerberfiles
- ✗ Elektor's jaarlijkse DVD-ROM

▶ WORD LID

[www.elektor.nl/inschrijven](http://www.elektor.nl/inschrijven)



[facebook.com/ElektorNL](https://facebook.com/ElektorNL)



[twitter.com/ElektorNL](https://twitter.com/ElektorNL)

# NIEUW

www.magpi.nl

## Het officiële magazine van de Raspberry Pi Foundation nu in het Nederlands!



€ 9,95

Vanaf 15 maart 2018 verkrijgbaar in de kiosk en online!

# Condensatoren die zichzelf opladen

## hoed u voor diëlektrische absorptie

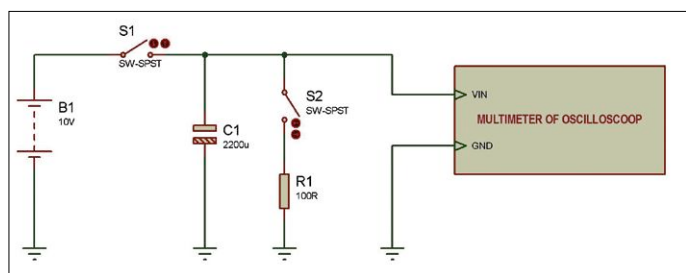
Robert Lacoste (Frankrijk)

Zo nu en dan tref je elektronica-onderdelen die ineens ruzie lijken te willen maken. Zo lijkt er bijvoorbeeld niks simpeler dan een condensator, toch? U weet allemaal dat een condensator elektrische lading kan opslaan. Sturen we een stroom in de condensator, dan laadt hij zich op. Sluiten we hem vervolgens aan op een weerstand, dan ontladend hij zich. Klaar is Kees? Mooi niet! Een condensator kan heel geniepig zijn. In dit artikel gaan we het hebben over een opmerkelijk verschijnsel genaamd diëlektrische absorptie. U zult zien dat een condensator zichzelf helemaal vanzelf kan opladen!



### Een simpel proefje

Geloofd mij niet? Laten we een proefje doen. Ga naar uw garage, zolder, of waar uw elektronica-lab ook maar is, en zoek de volgende onderdelen bij elkaar: een forse elco, bijvoorbeeld 2200  $\mu\text{F}$  (hoe bedenkelijker de kwaliteit, des te beter — in dit geval); een kleine weerstand, zeg 100  $\Omega$ ; een gelijkspanningsbron van om en nabij 10 volt, een batterijtje of een accu volstaat; twee schakelaars en wat montagedraad. O wacht, en nog een simpele oscilloscoop. Ik was hem bijna vergeten. Hebt u die niet, dan lukt het ook met een simpele multimeter en pen en papier, want het verschijnsel dat we gaan bestuderen voltrekt zich heel langzaam. Het is wel van belang dat de multimeter een hoge ingangsimpedantie heeft, minstens 1  $\text{M}\Omega$ , liefst 10  $\text{M}\Omega$ .

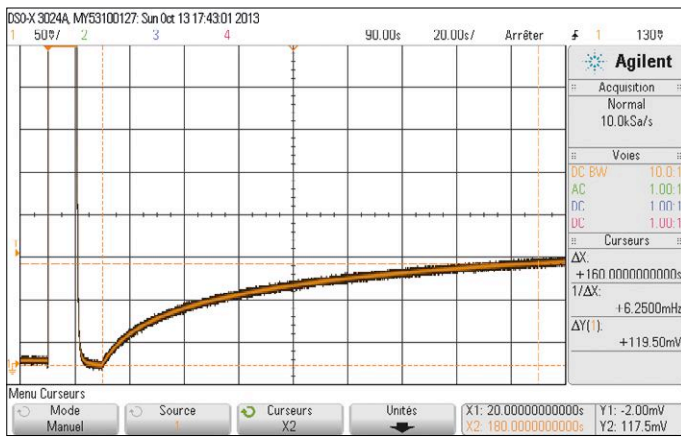


Figuur 1. Een condensator, een weerstand, bedrading, twee schakelaars en een meetinstrument. Meer hebben we niet nodig om te experimenteren met diëlektrische absorptie.

Al deze spullen sluit u aan volgens **figuur 1**. De 'scoop of de meter zet u over de condensator. Sluit de voeding aan op de condensator via de ene schakelaar (S1) en de ontladweerstand via de andere (S2). Beide schakelaars moeten in eerste instantie geopend zijn. Op de foto (**figuur 8**) ziet u de proefopstelling. Niks bijzonders.

Nu sluit u S1. De condensator laadt zich heel snel op, de spanning over de condensator klimt snel naar de voedingsspanning. Heel normaal, tot zover niks nieuws. Op de 'scoop kunt u de meting volgen met een langzame tijdbasis, bijvoorbeeld 10 seconden per hokje of nog langzamer. Wacht een seconde of tien, zet dan de voeding uit en open S1. De condensator is nu onbelast en zijn spanning verandert niet of nauwelijks, aangenomen dat hij niet al te veel lading verliest over zijn eigen inwendige weerstand (ESR). Schakel nu S2 in. De condensator ontladend zich via de weerstand van 100  $\Omega$ , en daardoor verdwijnt de spanning over de condensator. Hoeveel tijd er nodig is voor een volledige ontlading wordt bepaald door de waarden van de condensator en de weerstand; met 2200  $\mu\text{F}$  en 100  $\Omega$  kunnen we uitrekenen dat die spanning na twee seconden ontladen minder dan een millivolt moet zijn. Voor de zekerheid laten we nu S2 echter tien seconden gesloten. Nu komt het leuke gedeelte van het proefje: na precies tien seconden zet u S2 weer open en wacht u af. De condensator is volledig ontladen en onbelast. Tot uw verbazing zult u zien dat de condensatorspanning (volgens een exponentiële curve) oploopt! In **figuur 2** ziet u de curve die ik kreeg met de genoemde waarden. De spanning over mijn condensator liep





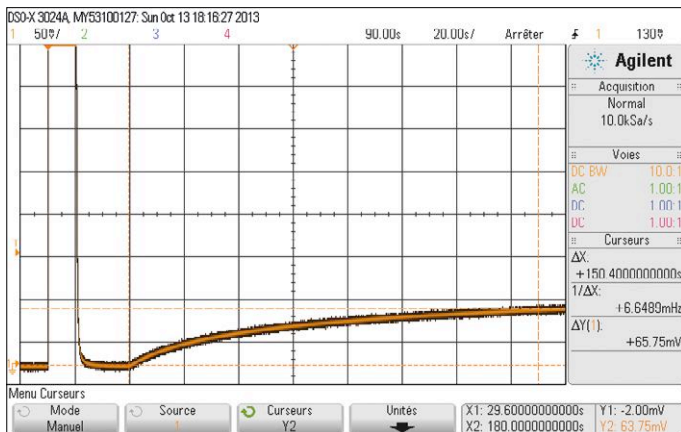
Figuur 2. Het resultaat van een proef met een 2200- $\mu\text{F}$ -condensator, tien seconden ontladen in 100  $\Omega$ . Twee minuten later is de spanning door diëlektrische absorptie opgelopen naar 119 mV.

op tot zo'n 120 mV in twee minuten, alsof hij werd opgeladen door een spanningsbron. Wat is hier aan de hand? Het is geen paranormaal verschijnsel, u hebt zojuist geëxperimenteerd met diëlektrische absorptie [1].

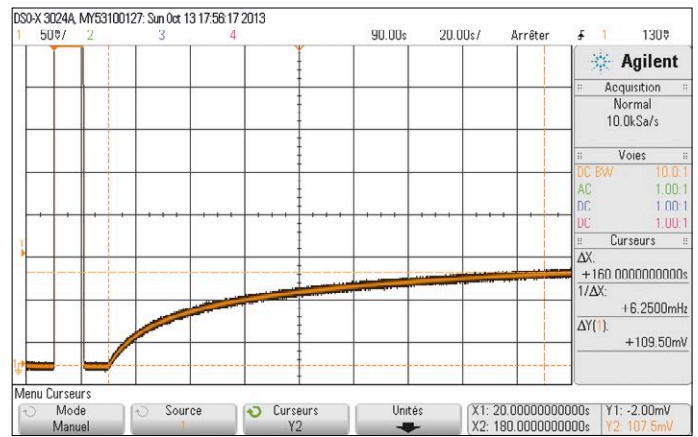
### Variaties op een thema

Voordat we de oorzaak van het fenomeen uit de doeken gaan doen, is het zinvol om nog wat meer te experimenteren. U zou bijvoorbeeld kunnen denken dat de weerstand te hoog was voor een volledige ontlading. Dan kunnen we het nog eens proberen, maar met een nog kleinere waarde. Ik heb dit gedaan met een weerstand van 1,5  $\Omega$ , nog steeds met dezelfde ontladingsduur van 10 seconden ontladend. Het resultaat ziet u in **figuur 3**. Zoals te verwachten verloopt de ontlading vanwege die kleinere weerstand aanzienlijk sneller, maar na twee minuten in onbelaste toestand is de spanning over de condensator weer opgeklommen naar 110 mV, dus dichtbij de 120 mV van de eerste proef. De waarde van de ontladingsweerstand lijkt dus geen grote invloed te hebben.

Vervolgens heb ik de 100- $\Omega$ -weerstand weer aangesloten, maar nu heb ik de ontlading langer laten duren. En kijk eens aan, als S2 twintig seconden dichtblijft in plaats van tien, loopt daarna de spanning van de onbelaste condensator op naar 65 mV



Figuur 4. Deze grafiek is gemaakt met een weerstand van 100  $\Omega$ , maar met een twee maal zo lange ontladingsduur, 20 seconden. De uiteindelijke spanning is ongeveer de helft van wat we eerst zagen.

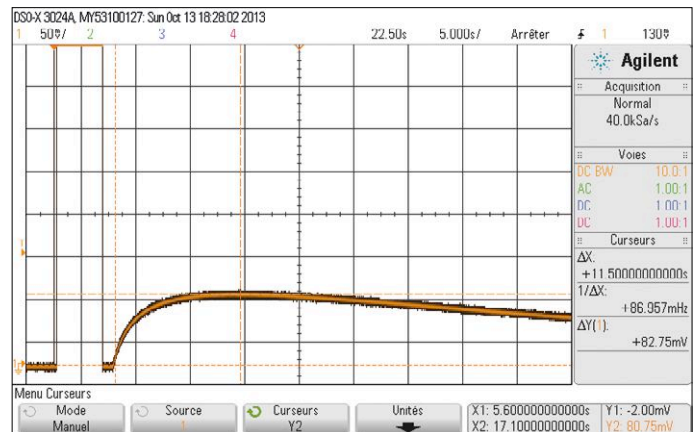


Figuur 3. Als we de ontladingsweerstand verkleinen tot 1,5  $\Omega$ , maakt dat nauwelijks verschil met het resultaat van figuur 2.

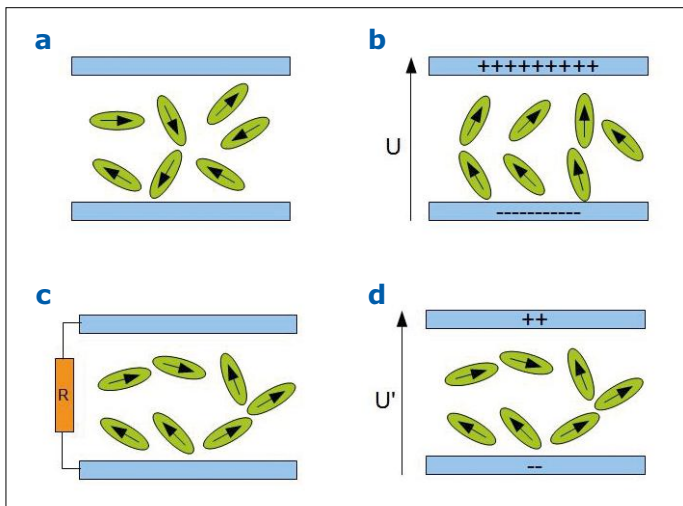
(**figuur 4**), dus ongeveer de helft van wat we eerst vonden. Er lijkt wazig een verband te bestaan tussen de ontladingsduur en die spookspanning...

Als laatste probeerde ik wat andere condensatorwaarden. Ik heb een stel elco's getest en ook wat tantaaltjes. Je moet natuurlijk de tijden en de waarde van de ontladingsweerstand aanpassen aan de capaciteit van de condensator, maar je ziet toch steeds hetzelfde gedrag. Een interessant voorbeeld toont **figuur 5**. Dit is een kleine elco van 4,7  $\mu\text{F}$ /63 V. Met vijf seconden opladen en twee seconden ontladen over 100  $\Omega$  klom daarna de condensatorspanning in twaalf seconden naar 83 mV, om vervolgens langzaam weer in te zakken. Dit laatste komt duidelijk door de inwendige weerstand van de condensator. Daarnaast is er ook een minieme stroom de oscilloscoop in. Als laatste heb ik in plaats van de elco een keramische condensator met dezelfde capaciteit (4,7  $\mu\text{F}$ ) genomen. Daarmee liep de spanning ook op, maar lang niet zo ver, tot nog geen 20 mV.

Resumerend: met bepaalde soorten condensatoren, met name met elektrolytische condensatoren en met tantaaltjes, lijkt de condensator bij een snelle ontlading niet al zijn lading te verliezen. Of, eigenlijk beter gezegd: hij lijkt zich na een snelle ontlading geheel zelfstandig langzaam weer een stukje op te laden. Dit kan meerdere seconden tot minuten duren. De span-



Figuur 5. Met een elco van 4,7  $\mu\text{F}$ , twee seconden ontladen over 100  $\Omega$ , klimt de spanning in twaalf seconden naar 83 mV, en neemt dan langzaam af vanwege de inwendige weerstand.



Figuur 6. a) De moleculen van het diëlektricum zijn willekeurig georiënteerd. b) Wordt er een elektrisch veld aangebracht op de condensatorplaten, dan richten de moleculen zich naar dat veld. c) Ontlading van de condensator bevrijdt de moleculen uit het gelid, maar dat kost tijd. d) Als de ontleding stopt terwijl de moleculen nog gepolariseerd zijn en 'in het gelid' staan, dan verplaatst die polarisatie zich naar de condensatorplaten, wat voor een spanning over de condensator zorgt.

ning die zo bereikt wordt hangt af van het type condensator, de beginspanning en de duur van de ontleding, en niet of nauwelijks van de waarde van de ontladweerstand. In mijn tests was de uiteindelijke zelfstandig geladen spanning in de orde van grootte van 1 of 2% van de oorspronkelijke laadspanning.

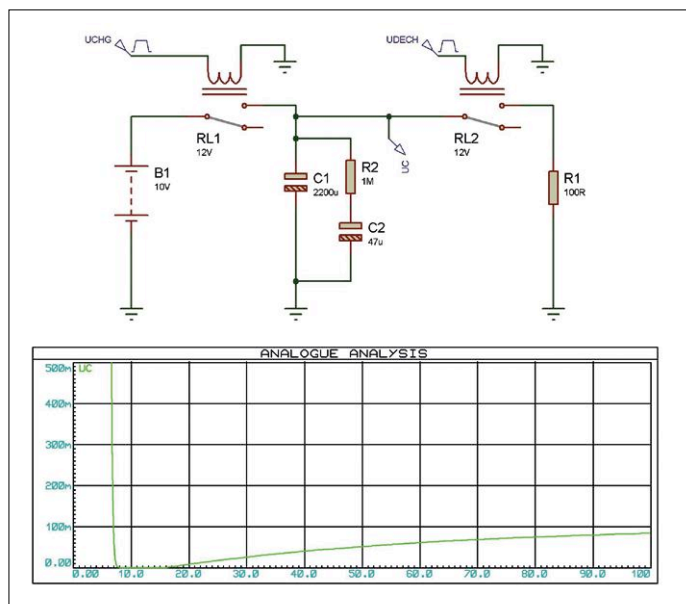
### En hoe komt dat dan?

Om te begrijpen waar deze *diëlektrische absorptie* vandaan komt, moeten we een uitstapje maken naar de scheikunde. Het zal u ongetwijfeld bekend zijn dat een condensator bestaat uit twee elektrisch geleidende platen aan weerszijden van een

isolator, en tussen die platen kan zich een elektrisch veld bevinden. Het materiaal dat de beide platen elektrisch van elkaar isoleert heet *diëlektricum*. De eigenschap van dat materiaal, isoleren en tegelijk ruimte bieden voor een elektrisch veld, is de oorsprong van ons fenomeen. Het materiaal van het diëlektricum bestaat voor het overgrote deel uit moleculen die gepolariseerd kunnen worden. Die moleculen zitten aan elkaar "vastgeplakt" met onderlinge chemische verbindingen. Is er geen elektrische lading in de buurt, dan zitten alle moleculen willekeurig door elkaar heen. Maar plaats je die moleculen in een elektrisch veld, dan worden ze gepolariseerd: meer elektronen hopen zich op aan het ene uiteinde van het molecuul dan aan het andere. Daardoor gaan ze zich gedragen zoals kompasnaaldjes in een magnetisch veld: ze richten zichzelf naar de polariteit van het elektrische veld. Ze gaan als het ware in het gelid staan, zoals een regiment soldaten die eerst willekeurig op het terrein rondhangen, in het gelid gaan staan voor een parade. Maar die schikking wordt belemmerd (lees: vertraagd) doordat de moleculen aan hun burens vastgeplakt zijn. Dat heeft twee gevolgen: in het gelid gaan staan kost energie, en dat veroorzaakt het zogenaamde diëlektrische verlies van de condensator. Ten tweede kost die uitlijning tijd (**figuur 6**). Is de condensator ontladen, dan verdwijnt het elektrische veld, waardoor de moleculen zich ontspannen en terugkeren in hun oorspronkelijke "ongeordende" toestand. Maar dat kost wel enige tijd. Wordt de condensator snel ontladen, dan zal een groot deel van de moleculen aan het eind van de ontleding nog steeds gepolariseerd zijn, en die polarisatie verplaatst zich in die tijd naar de condensatorplaten. Dat is het fenomeen dat we met onze proeven hebben gezien. Aha, nu zien we ook waarom dat zelfstandige opladen bepaald wordt door de *duur* van de ontleding (en natuurlijk van het type diëlektricum). Een condensator met lucht als diëlektricum heeft geen last van dit mankement.

Nu is mijn bedoeling met dit artikel u een indruk van het mechanisme achter dit fenomeen te geven. Er valt echter nog veel meer over te vertellen. Wie daarin geïnteresseerd is kan ik een zeer complete analyse van het verschijnsel aanbevelen in de vorm van een uitstekend artikel door Bob Pease, online te vinden via [2]. In dat artikel vindt u ook een elektrisch model voor een condensator die 'last heeft' van diëlektrische absorptie. Dat model bestaat uit een grote condensator met parallel daaraan meerdere kleinere condensatorpjes, elk met een flinke serieweerstand. Die schakeling heb ik voor u gesimuleerd; het resultaat ziet u in **figuur 7**. Dat komt toch netjes overeen met wat we experimenteel hebben gevonden, of niet soms? Deze simulatie heb ik gemaakt met Proteus (Labcenter), maar als u dit zelf wilt doen kunt u er natuurlijk om het even welke welke simulator voor gebruiken.

Voor wie nog nooit van Bob Pease gehoord heeft (maar dat kan haast niet): hij was één van de technische goeroes van *National Semiconductor*, dat tegenwoordig deel uitmaakt van *Texas Instruments*. Pease overleed in 2011 maar hij heeft een heleboel uitstekende en boeiende artikelen over elektronica nagelaten. De mensen bij Texas Instruments hadden vervolgens het lumineuze idee om al die artikelen op internet te publiceren. Ik kan u van harte aanraden om ze eens op te zoeken, het is een geweldige bron van inspiratie!



Figuur 7. Diëlektrische absorptie is te modelleren met een kleine condensator met een grote serieweerstand, parallel aan de te onderzoeken condensator. Deze simulatie met Proteus [6] komt heel dicht in de buurt van het experiment met echte componenten.

Terug nu naar diëlektrische absorptie. Het probleem is wel zo belangrijk dat er een gestandaardiseerde meetmethode voor

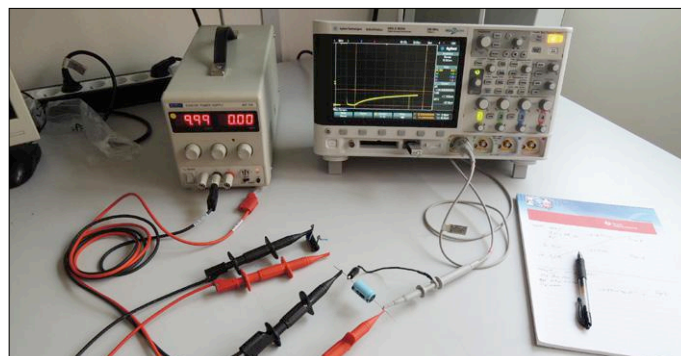
bestaat. Open uw favoriete zoekmachine en zoek naar de militaire standaard MIL-PRF-19978 [4]. U ziet dan in grote lijnen dezelfde methodiek als die ik heb toegepast in de voorbeelden hierboven, maar dan met gestandaardiseerde waarden. De condensator moet gedurende een uur op de nominale spanning opgeladen blijven, en vervolgens tien seconden worden ontladen over een weerstand van 5  $\Omega$ . In de loop van de volgende vijftien minuten wordt de spanning gemeten met een millivoltmeter met zeer hoge ingangsimpedantie (meer dan 10.000 M $\Omega$ ..). De diëlektrische absorptie-coëfficiënt is de verhouding (uitgedrukt als percentage) van de spanning die zich opbouwt en de oorspronkelijke spanning. Condensator-fabrikanten geven deze diëlektrische absorptie-coëfficiënt op voor elke condensator-technologie die ze in hun assortiment hebben. In **tabel 1**, afkomstig van Wikipedia, ziet u enige kenmerkende waarden.

### Tot besluit

U vraagt zich misschien af of dit fenomeen nu eigenlijk wel een probleem is. Stelt u zich voor dat u een oude beeldbuis-televisie wilt repareren, of een ander apparaat waar hoogspanning in voorkomt. Uit voorzorg haalt u eerst de stekker uit het stopcontact. Daarna maakt u het ding open. U beseft uiteraard dat u eerst alle condensatoren dient te ontladen voordat u ergens met uw vingers aankomt. Dus neemt u een ontladweerstand en zet u die een seconde of vijf tot tien over die mooie grote condensator waar 1  $\mu\text{F}/10\text{ kV}$  op staat. Na pak 'm beet vijftien seconden voor de zekerheid bent u er wel gerust op. Vervolgens wilt u het ding beetpakken. Niet doen! De spanning kan zijn opgelopen tot enkele honderden volt. Met dank aan de diëlektrische absorptie. Zelfs voedingscondensatoren die worden opgeladen tot 400 V kunnen een spanning terug opbouwen die hoog genoeg is om schade aan te richten. En is het geen schade aan uzelf, dan is het wel aan naburige schakelingen die daar gevoelig voor zijn.

Ook is diëlektrische absorptie een terugkerende bron van ergernis als u analoge precisie-schakelingen zoals een sample&hold-circuit moet ontwikkelen. In zo'n schakeling wordt een ingangsspanning snel overgezet op een opslagcondensator, die vervolgens gedurende de hold-tijd open blijft en daarna wordt ontladen om klaar te zijn voor het volgende monster. Vanwege de diëlektrische absorptie haalt die condensator onvermijdelijk een deel van zijn vorige spanning terug. Dat geeft meetfouten, en erger: het maakt de spanning afhankelijk van de vorige waarde. Voor dergelijke toepassingen zijn condensatoren met weinig of geen diëlektrische absorptie onmisbaar. In het verleden koos men dan voor polystyreen, polypropyleen of zelfs teflon condensatoren. Tegenwoordig zien we sample&holds vrijwel uitsluitend in de vorm van een compleet IC met de opslagcondensatoren op de chip, door de fabrikant geoptimaliseerd voor hun taak.

Tenslotte nog enkele woorden voor onze audiofiële vrienden. Ik moet bekennen dat ik weleens grappen maak over mensen die meerdere honderden euro's spenderen aan een netvoedingskabel of aan glasvezel "speciaal voor audio". Dat is een soort spiritisme, volgens mij. Het leidt echter geen twijfel dat de condensatorkeuze een belangrijk aandachtspunt is voor kwaliteits-audio. Inmiddels snapt u een van de redenen daarvoor: diëlektrische absorptie. Dat verschijnsel kan vervorming introduceren die afhangt van de frequentie en de amplitude van het signaal. Om die reden zijn goedkope condensatoren van 1  $\mu\text{F}$  niet geschikt voor deze toepassing. Meer over dit onderwerp vindt u in het artikel van Bob Pease.



Figuur 8. Mijn testopstelling. Niks bijzonders, behalve misschien de oscilloscoop. Dat is een Keysight DSO-X 3024A [5], eigenlijk veel te krachtig voor dit experiment.

Type condensator	Diëlektrische absorptie
Lucht	niet meetbaar
Keramisch klasse 1 (NPO)	0,6%
Keramisch klasse 2 (X7R)	2,5%
Polypropyleen	0,05 à 0,1%
Polyester film	0,2 à 0,5%
Elektrochemisch, tantaal	2 à 3%
Elektrochemisch, aluminium	10 à 15%

Tabel 1. In deze tabel, afkomstig van Wikipedia, ziet u de diëlektrische absorptiefactoren voor een aantal soorten veel voorkomende condensatoren. Merk op dat elco's onbelast wel 10 tot 15% van hun oorspronkelijke spanning terug kunnen krijgen!

Daarmee zijn we aan het eind van dit artikel. Ik hoop dat u het interessant vond, want het onderwerp wordt vaak vergeten en anders wordt het wel slecht begrepen. Aarzel in elk geval niet om het zelf eens uit te proberen. Het leuke is dat iedereen het zelf kan uitvoeren.

Ik heb trouwens nog meer verrassingen in petto, want in volgende artikelen borduur ik op deze materie voort. We zullen zien dat de capaciteit van een condensator een factor 1 tot 10 kan variëren al naargelang de erover aangelegde spanning. Ook zullen we zien dat een condensator zich best wel kan gedragen als een zelfinductie, al naargelang de werkfrequentie. Echt, die simpele componenten zijn niet zo simpel als ze lijken. ◀

(160500)

Dit artikel is eerder verschenen in *Circuit Cellar* (nr 283, februari 2014).

### Weblinks

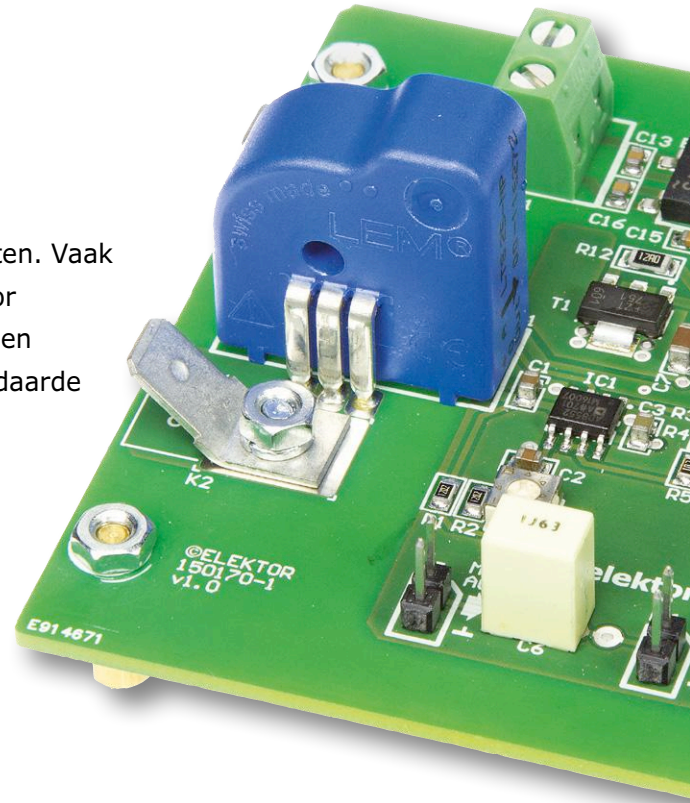
- [1] Diëlektrische absorptie: [http://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric\\_absorption](http://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric_absorption)
- [2] Artikel van Bob Pease: <http://electronicdesign.com/analog/whats-all-soakage-stuff-anyhow>
- [3] Site van Bob Pease: [www.ti.com/ww/en/bobpease/assets/www-national-com\\_rap.pdf](http://www.ti.com/ww/en/bobpease/assets/www-national-com_rap.pdf)
- [4] MIL-PRF-19978: <http://everyspec.com/specifications-standards-search.php> (zoek op Document-ID = MIL-PRF-19978)
- [5] Oscilloscoop Keysight DSO-X 3024A: [www.keysight.com/en/pdx-x201839-pn-DSOX3024A/oscilloscope-200-mhz-4-channels?cc=FR&lc=fr](http://www.keysight.com/en/pdx-x201839-pn-DSOX3024A/oscilloscope-200-mhz-4-channels?cc=FR&lc=fr)
- [6] Proteus VSM simulator: [www.labcenter.co.uk](http://www.labcenter.co.uk)

# Stroomomzetter voor oscilloscoop

## potentiaalvrij meten

Karsten Böhme (Duitsland) & Ton Giesberts (Elektor-lab)

Elektrische stroom kan op verschillende manieren worden gemeten. Vaak wordt daarvoor een weerstand (*shunt*) gebruikt waarover de door de stroom veroorzaakte spanningsval wordt gemeten. Nu is bij een oscilloscoop de massa van de probe vaak verbonden met de randaarde van het lichtnet. Dat maakt de shunt-methode in veel gevallen onbruikbaar. Met een stroomtang kan een stroom weliswaar potentiaalvrij worden gemeten, maar die instrumenten zijn te traag om snelle stroomveranderingen te kunnen volgen, en bovendien hebben betaalbare stroomtangen geen aansluiting voor een 'scoop. Wie potentiaalvrij stromen met een 'scoop wil meten, is dus aangewezen op een stroomtang met 'scoop-uitgang — die duurder kan zijn dan de 'scoop zelf. En dan wordt zelfbouw weer de moeite waard!



### Technische gegevens

- Meetbereik:  $\pm 25$  A nominale effectieve stroom ( $\pm 80$  A max. puls, uitgangsspanning begrensd)
- Precisie: 0,2 % typ., 0,7 % max.
- Bandbreedte: 200 kHz (-0,5...+1 dB)
- Stroomverbruik: 50 mA (bij 19,5 V gelijkspanning op K1)  
44 mA (bij 9,2 V gelijkspanning op K1)
- Voeding (K1):  $\geq 9,2$  V= (daarbeneden schakelt MOD2 af)  
 $\leq 19,5$  V= (max. 18 V op de ingang van MOD2)  
9...12 V $\approx$  (secundaire trafospinning, zie tekst)
- Schaalfactoren: 100 mV/A op K4 (Gain = 4)  
250 mV/A op K4 (Gain = 10)  
25 mV/A op K5 en K6
- Uitgangsspanning: max.  $\pm 2,5$  V op K4 (Gain = 4)  
max.  $\pm 5$  V op K4 (Gain = 10, begrensd op  $\pm 20$  A)  
max. 3,125 V en min. 1,875 V op K5  
max. 625 mV $\approx$  effectief bij sinusvormige 25 A $\approx$

Zelfbouw van een potentiaalvrije stroomomzetter voor de oscilloscoop loont niet alleen maar is ook verrassend eenvoudig. Er bestaan namelijk speciale onderdelen voor dit doel die u een hoop werk uit handen nemen.

We bedoelen hier een soort 'stroomtang voor printmontage'. Deze zet de stroom die door het te meten object vloeit om in een magneetveld, en zet dat vervolgens weer om in een daarmee evenredige spanning waarmee elke oscilloscoop uit de voeten kan. Het werkt precies zo als bij een 'echte' handheld-stroomtang.

Hoe deze dubbele omzetting van fysische grootheden in zijn werk gaat, zetten we hieronder uiteen.

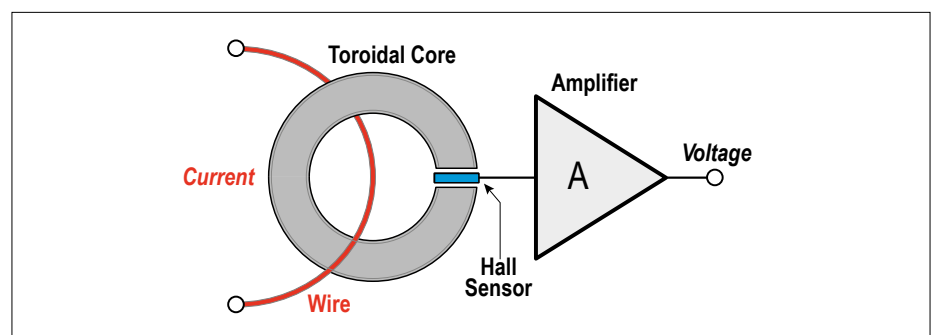


### Principe van de stroomtang

Zoals gezegd wordt een stroom eerst omgezet in een magnetisch veld en dat wordt op zijn beurt weer vertaald in een spanning. In **figuur 1** ziet u de drie essentiële functieblokken. Aan de ingang links zien we een ferriet-ringkern met een luchtspleet. Door deze ringkern loopt als het ware één winding van de geleider, waardoorheen de stroom vloeit die we willen meten. De ringkern heeft een kunststof isolatie zodat ook aan ongeïsoleerde geleiders potentiaal- en risicovrij kan worden gemeten. De stroom door de geleider induceert in de ferrietkern een magnetisch veld

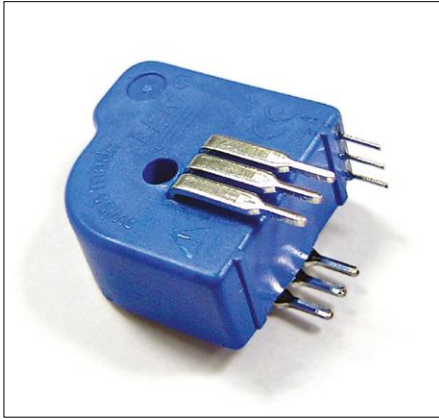
Figuur 1. Dit blokschema verduidelijkt de werking van een stroomtang.

dat zich concentreert in de luchtspleet. Dit magnetisch veld wordt door middel van een Hall-sensor omgezet in een evenredige spanning. Daarna is er een versterker die zorgt voor niveau- en impedantie-aanpassing. Allemaal heel simpel eigenlijk. Een groot voordeel van dit principe is dat de shuntloze meting heel laagohmig is. Dankzij de Hall-sensor kunnen we ook gelijkstromen meten, wat niet mogelijk zou zijn wanneer we de ringkern als trafo zouden gebruiken door (in plaats van de Hall-sensor) een secundaire wikkeling aan te brengen. Om te voorkomen dat men de geleider eerst moet onderbreken en door de ringkern moet steken, kan de ringkern bij handheld-stroomtangen opengeklapt worden. In ons geval is dat minder belangrijk, omdat een oscilloscoop meestal niet mobiel wordt ingezet. We concentreren ons daarom vooral op potentiaalvrijheid, bandbreedte en nauwkeurigheid.



### PROJECT-INFO

	oscilloscoop meten stroom potentialvrij
	beginners → gevorderden experts
	Ongeveer 3 uur
	Soldeergereedschap Boormachine Labvoeding
	Ongeveer € 100



Figuur 2. De stroomomzetter-module NTS 25-NP van LEM. Hij heeft drie 'windingen' die parallel of in serie geschakeld kunnen worden.

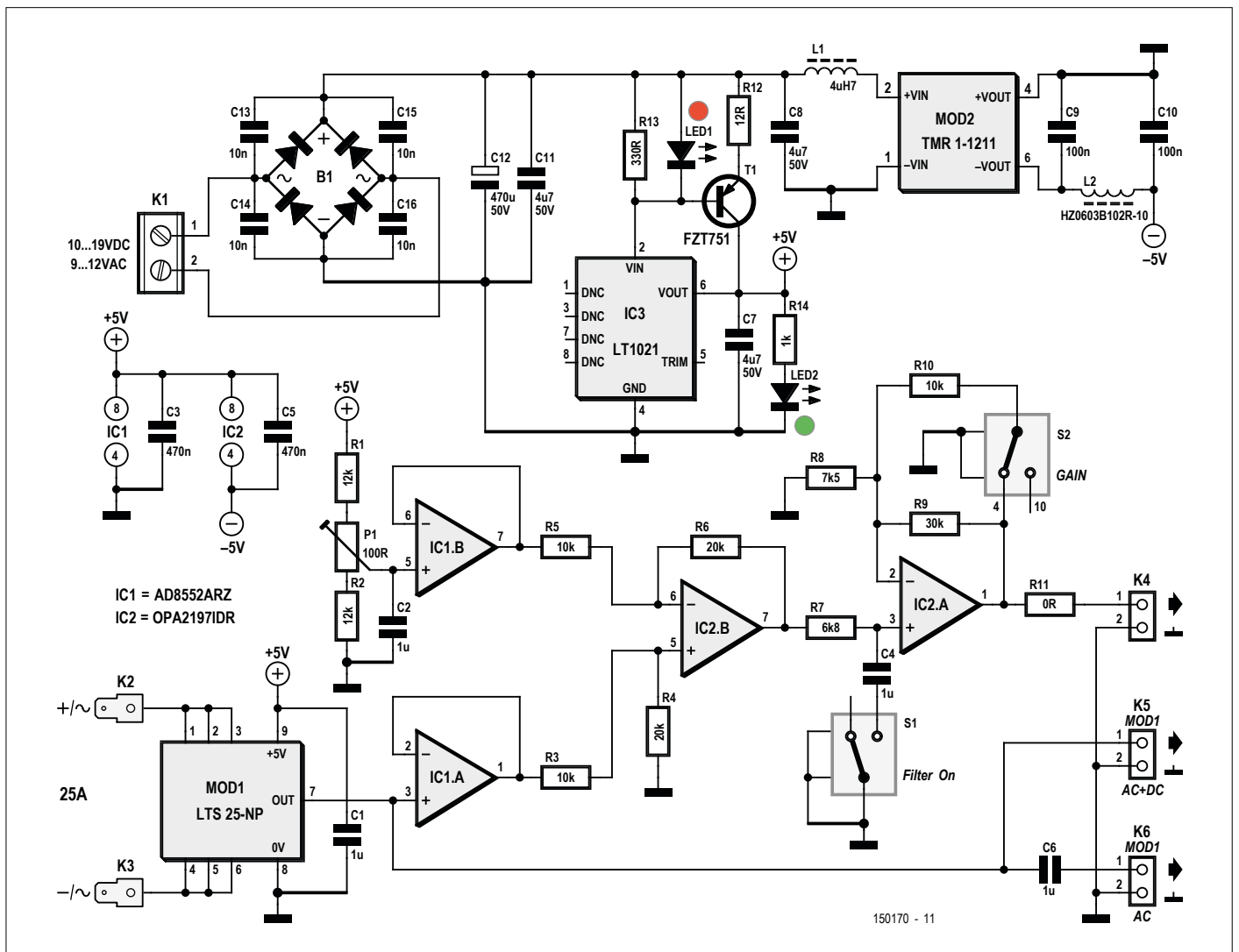
### Stroomomzetter-module

De Zwitserse firma Lem houdt zich al decennia bezig met alles wat met grote stromen van doen heeft. Dit bedrijf levert ook een stroomomzetter die de

drie functies van figuur 1 in één enkele kant-en-klare module combineert. Deze LTS 25-NP *current transducer* ziet u in **figuur 2**. Aan de ingang is hij al voorzien van een geleider waardoorheen de te meten stroom loopt; deze module kan immers niet worden opengeklapt. Beter gezegd: er zijn drie geleiders. Voor grotere stromen kunnen we die parallel schakelen en voor kleinere in serie. Zo kunnen verschillende meetbereiken met één module worden gerealiseerd. Met drie 'windingen' parallel geschakeld hebben we een meetbereik van 25 A bij een meetweerstand van slechts 180  $\mu\Omega$ . Met twee windingen in serie krijgen we een hogere gevoeligheid van 12 A bij een weerstand van 810  $\mu\Omega$ . Met alle drie windingen in serie kunnen we continue stromen tot maximaal 8 A meten bij een weerstand van 1,62 m $\Omega$ . U ziet dat de effectieve weerstand niet recht evenredig is met het meetbereik. Dat komt omdat bij de serieschakeling het leeuwendeel

van de totale weerstand wordt bepaald door de weerstand van de printbanen. Bovendien is de totale weerstand in feite een schatting die van de feitelijke configuratie afhangt. Voor dit project maken we echter gebruik van het 25-A-meetbereik, zodat we ons hierover verder geen zorgen hoeven te maken.

De geïntegreerde elektronica van de MTS 5-NP heeft drie aansluitpennen. Twee daarvan zijn voor de voeding: massa en +5 V. De derde levert de uitgangsspanning. In rust, dat wil zeggen bij een stroom van 0 A, zien we hier de halve voedingsspanning: 2,5 V. Zodra er stroom vloeit, verandert de uitgangsspanning met 25 mV/A. De andere specificaties zijn trouwens ook best indrukwekkend: een meetfout van 0,2% en een bandbreedte van 200 kHz (bij -0,5...+1 dB) is voor zo'n magnetische meetomzetter best wel goed. De overige technische gegevens zijn te vinden in de datasheet [1].



Figuur 3. Schema van de omzetter.

## De schakeling

De NTS 25-NP bevat alles wat we nodig hebben voor het potentiaalvrij omzetten van een stroom in spanning die een 'scoop kan meten. Hij kost zo'n 15 euro, wat echt niet duur is wanneer u bedenkt wat u daarvoor krijgt. Eigenlijk ontbreekt er alleen nog een voeding en misschien een opamp om het signaal op te poetsen. Nou ja, zo simpel is het nu ook weer niet. Het ligt voor de hand om gebruik te maken van een 5-V-voeding uit een USB-poort zoals die op veel digitale oscilloscopen te vinden is. Maar een dergelijke voeding vertoont allerlei storinkjes en onzuiverheden die voor digitale elektronica geen probleem zijn, maar die we bij een analoge meting echt niet kunnen gebruiken. Om nog maar te zwijgen van aardlussen en andere narigheid die u zich op de hals haalt bij een verbinding tussen signaalmassa en voedingsmassa. Dus een aparte voeding is wel aan te bevelen. En dan kunnen we net zo goed meteen spijkers met koppen slaan.

## Voeding

In het schema van **figuur 3** ziet u een precisie-referentie-IC, een LTC1021-5 van Linear Technology [2]. De uitgangsspanning daarvan is opmerkelijk vrij van ruis en drift, is ook op lange termijn stabiel terwijl zelfs in de niet-afgegelde uitvoering met een afwijking van 1% bijna nauwkeuriger dan nodig. Een klein probleem is echter dat zijn uitgang slechts met 10 mA belast mag worden — terwijl de omzettermodule in zijn eentje al 28 mA trekt, en daar komen nog wat milliampères bij voor de rest van de elektronica. De oplossing is de versterkerschakeling rond T1. Zodra er meer dan 2 mA door R13 loopt gaat T1 in geleiding, en die levert dan de rest van de stroom. Maar dat is nog niet alles.

Omdat de spanning aan de uitgang van MOD1 bij 0 Aingangssignaal helaas niet 0 V maar helaas 2,5 V bedraagt, hebben we een probleem als we de gevoeligheid van de oscilloscoop opvoeren, want er is gerede kans dat we de nullijn dan niet meer in beeld houden. Daarom is er naast de rechtstreekse uitgang K5 en de met C6 DC-ontkoppelde uitgang K6 nog een versterkte uitgang K4, die bij 0 A ook 0 V levert. Met P1 kunnen we exact de helft van de voedingsspanning instellen, en met de verschilversterker IC2.B trekken we die af van het uitgangssignaal op pen 7 van MOD1. Het resultaat is symmetrisch om 0 V. Zonder ver-

sterking zouden we bij  $\pm 25$  A maar een spanningszwaai van  $\pm 625$  mV hebben. Daarom kunnen we met IC2.B en S2 kiezen tussen een versterkingsfactor 4 (S2 gesloten) of 10 (S2 open). Met de factor 4 zien we dan 100 mV/A aan de uitgang. Met die waarde kunnen we gemakkelijk rekenen. Bij  $\pm 25$  A zien we dan  $\pm 2,5$  V aan de uitgang. Bij de factor 10 hebben we hogere gevoeligheid van 250 mV/A. Willen de opamps symmetrische signalen kunnen leveren, dan moeten ze ook symmetrisch worden gevoed. De positieve voedingsspanning hadden we al, de negatieve wordt geleverd door MOD2 [3], een kleine DC/DC-omzetter. Zijn positieve uitgang ligt aan massa, zodat hij -5 V levert. En last but not least kunnen we met S1 een laagdoorlaatfilter inschakelen. De kantelfrequentie bedraagt 24 Hz. Dit dient om gelijkspanningscomponenten nauwkeuriger te meten.

## Enkele details

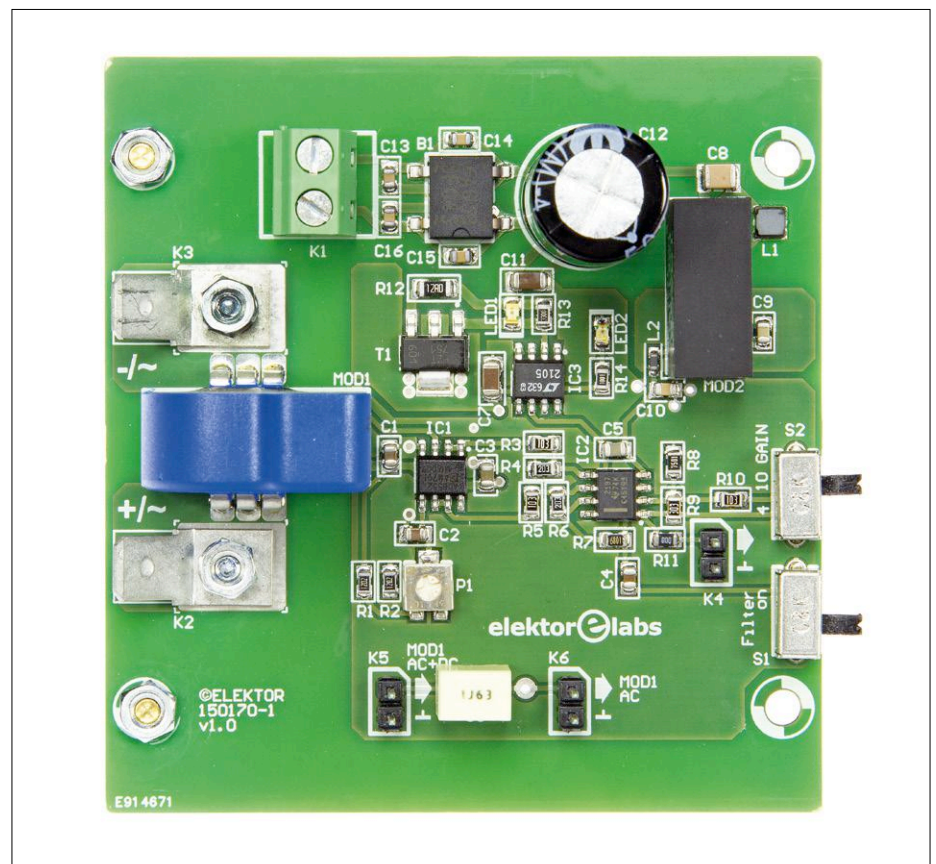
Nog iets over de gebruikte opamps: de beide opamps in IC1 [4] dienen uitsluitend als buffer, ze versterken met een factor 1. Hier is vooral een geringe drift vereist. De versterking is verdeeld over IC2: IC2.B versterkt twee maal en IC2.A

maximaal vijf maal. Met een versterkingsbandbreedte van 10 MHz blijft er altijd nog 2 MHz aan bandbreedte over — ongeveer tien keer zoveel als de bandbreedte van MOD1. Verder heeft IC2, een OPA2197 [5], een geringe offset en rail-to-rail-uitgangen.

Het bereik van de externe voedingsspanning aan K1 wordt bepaald door de eigenschappen van MOD2. De ondergrens van dit bereik is de minimaleingangsspanning van MOD2 plus de spanningsval over B1. De bovengrens is wat MOD2 maximaal alsingangsspanning aankan, minus de spanning over B1. Een voedingsspanning van 10 tot 19 V<sub>DC</sub> is veilig. Een netadapter van 12 V zal prima voldoen. U zou hier ook de secundaire wikkeling van een 9-V-nettrafo kunnen toepassen. Het is echter geen goed idee om een kleine 12-V-trafo te nemen. Die wordt maar nauwelijks belast en zou daarom een te hoge spanning kunnen leveren, wat MOD2 niet zou overleven. U dient dus eerst te meten voordat u iets aansluit.

## Bouw

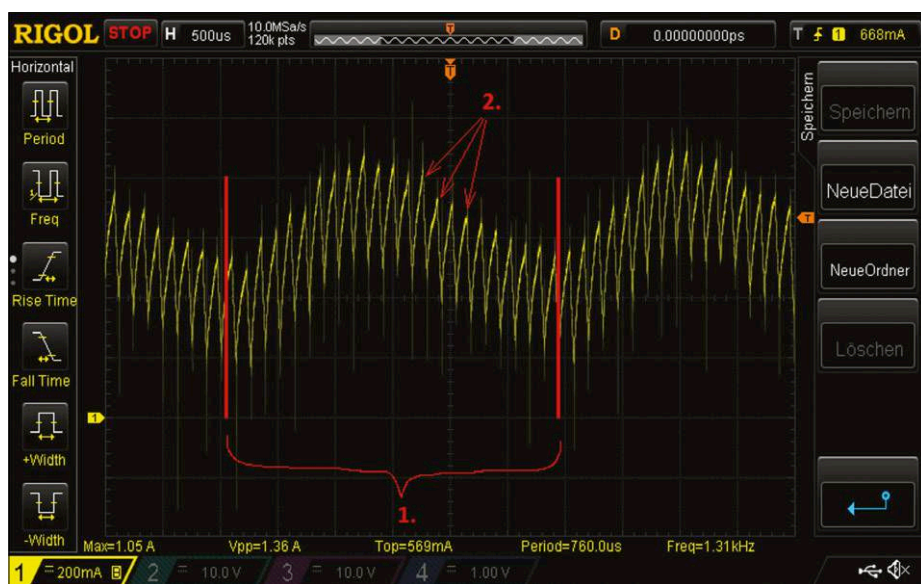
Dit project begon als een publicatie van Karsten Böhme op het Elektor Labs-platform [6]. Ton Giesberts van het Elek-



Figuur 4. Bovenkant van de print van het prototype in het Elektor-lab.



Figuur 5. Zo ziet het complete prototype eruit.



Figuur 6. Screenshot van een stroommeting die auteur Karsten Böhme deed aan een elektromotor. De langzame curve (1) is een gevolg van de beweging van de sleepcontacten over de commutator. De snellere variaties (2) zijn een gevolg van de PWM-frequentie van de motorsturing, ca. 7,8 kHz.

tor-laboratorium vond het zo overtuigend dat hij het onder zijn hoede nam en heeft ge-Elektoriseerd. Het ontwerp is onderhanden genomen en er is een print voor ontwikkeld die in de sleuven van een aluminium behuizing past, en daarom iets groter is dan strikt noodzakelijk voor de componenten die erop zitten. De bestanden met de printlayout zijn gratis te downloaden van de projectpagina [7] bij dit artikel, voor mensen die zelf graag hun printen etsen. **Figuur 4** is het bovenaanzicht van de compleet bestukte print.

Zoals u ziet in figuur 4 zitten er een aantal SMD's op, maar die zijn allemaal formaat 0805 of groter en dus goed te solderen. Met de nodige zorgvuldigheid zou het volbouwen van de print geen problemen moeten geven. U begint met de 'laagste' delen en vervolgens gaat u stap voor stap naar de hogere componenten zoals de de potmeter, de schakelaars, het printkroonsteentje, de headers, MOD2, elco C12 en MOD1. Als allerlaatste monteert u K2 en K3. Voor optimaal contact schroeft u ze eerst vast en fixeert u ze daarna met wat soldeer.

Nu is het tijd voor wat mechanisch werk, maar dat is gelukkig niet veel. In het in de onderdelenlijst genoemde, precies passende, aluprofiel-kastje van Hammond moeten in de bodem vier gaten worden geboord voor M3-boutjes waarmee de print wordt vastgezet. Het achterpaneel moet worden voorzien van twee sleufjes voor de beide schuifschakelaars en een gat voor een BNC-bus, die zonder isolatie direct tegen het aluminium wordt geschroefd. Op deze manier ligt de behuizing op de massapotential van de oscilloscoop-ingang, wanneer die met een coax-kabel met BNC-connectoren aangesloten wordt. Bij gebruik van een geïsoleerd BNC-chassisdeel moet de behuizing met een separaat kabeltje met de massa van de schakeling worden verbonden. In het andere 'kopse' paneel komen twee gaten voor banaanstekerbussen en één voor de voedingsconnector. Deze drie moeten juist wel geïsoleerd zijn van de behuizing, anders wordt de meting 'ietwat' onnauwkeuriger...

### Testen

Bij een eerste test met open ingang moeten er enkele mV te meten zijn op K4 en moet op K5 tamelijk precies 2,5 V staan. Als dat zo is, dan is uw soldeerarbeid met goed gevolg verlopen. Vervolgens is het



tijd voor afregelen: P1 wordt zo ingesteld dat op K4 precies 0,000 V staat. Het is niet nodig hiervoor K2 naar K3 kort te sluiten — de ingang is van van huis uit al laagohmig genoeg ;-)

Is dit klaar, dan kunnen we gaan testen met een 'echte' stroom. Een labvoeding met instelbare stroombegrenzing kan hier goede diensten bewijzen. Met 4 A aan de ingang en S2 op de stand Gain = 4 moeten op K4 precies 1,0 V staan. Met Gain = 10 moet dat 2,50 V zijn. Keert u de stroom om, dan moet het respectievelijk -1,0 V en -2,50 V zijn. Op K5 moet u dan ongeacht de stand van S2 2,60 V of 2,40 V meten. Als u aan K4 helemaal geen negatieve spanningen te zien krijgt, dan kunt u nagaan of MOD2 wel de beloofde -5 V levert (goed meetbaar over C9). Als dat in orde is, dan zult u op zoek moeten gaan naar kortsluitingen, slechte soldeerverbindingen en omgepoolde onderdelen.

Is alles tot nu toe in orde, dan schuift u de print in de behuizing en zet u hem met vier 10-mm-afstandsbusjes vast op de bodemplaat, en wel zo dat de schuifschakelaars van buitenaf goed bediend kunnen worden. Vervolgens sluit u alle connectoren aan zoals in **figuur 5** te zien is. Een laatste test, deksel erop, en klaar. Om een idee te geven hoe 'goed' deze omzetter in de praktijk werkt, is in **figuur 6** een screenshot te zien van de stroom bij een gelijkstroommotor die de auteur met het prototype van de schakeling onderzocht heeft. Zoals u ziet worden ook snelle stroomvariaties nauwkeurig weergegeven. ◀

(150170)

### Weblinks

- [1] <http://goo.gl/HDB7kb>
- [2] [www.linear.com/product/LT1021](http://www.linear.com/product/LT1021)
- [3] <http://goo.gl/uqW1vw>
- [4] <http://goo.gl/FSiAoX>
- [5] [www.ti.com/product/OPA2197](http://www.ti.com/product/OPA2197)
- [6] <http://goo.gl/JziUKZ>
- [7] [www.elektormagazine.nl/150170](http://www.elektormagazine.nl/150170)

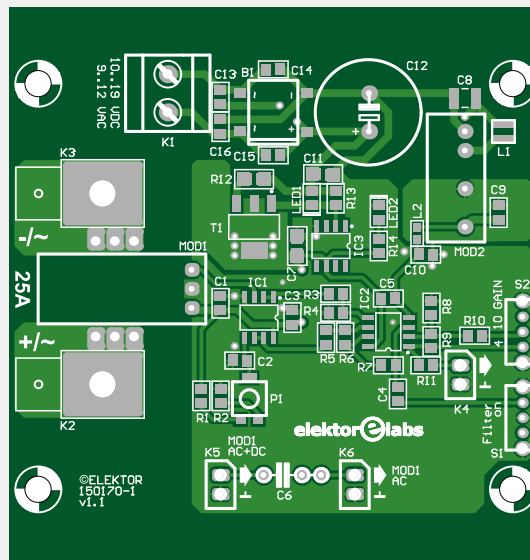


**IM ELEKTOR-SHOP**

→ Print  
150170-1 v1.1



## ONDERDELENLIJST



### Weerstanden:

(SMD 0805, 1%)  
R1,R2 = 12 k  
R3,R5,R10 = 10 k, 0,1%  
R4,R6 = 20 k, 0,1%  
R7 = 6k8  
R8 = 7k5, 0,1%  
R9 = 30 k, 0,1%  
R11 = 0 Ω  
R12 = 12 Ω, ¼ W, SMD 1206  
R13 = 330 Ω  
R14 = 1 k  
P1 = 100 Ω, SMD, bijv. Bourns 3314G-2-101E

### Condensatoren:

(SMD 0805, 50 V, 10%)  
C1,C2,C4 = 1 μ  
C3,C5 = 470 n  
C6 = 1 μ / 63 V, PET, steek 5 of 7,5 mm  
C7,C11 = 4μ7, SMD 1206  
C8 = 4μ7, SMD 1210  
C9,C10 = 100 n  
C12 = 470 μ, 20 %, steek 5 mm, 13x21 mm  
C13..C16 = 10 n / 100 V

### Spoelen:

L1 = 4μ7, 20 %, 1A2, 0Ω12, bijv. Bourns SRN3015TA-4R7M  
L2 = 1 kΩ@100 MHz, 200 mA, 0Ω6 Ω, bijv. Laird HZ0603B102R-10

### Halfgeleiders:

B1 = DF04S, bruggelijkrichter 400 V / 1A5, SMD SDIP 4L  
LED1 = LED, rood, SMD 0805  
LED2 = LED, groen, SMD 0805  
T1 = FZT751, PNP, 60 V, 2 W, 3 A, SMD SOT-223  
IC1 = AD8552ARZ, SMD SOIC-8

IC2 = OPA2197IDR, SMD SOIC-8  
IC3 = LT1021DCS8-5#PBF, SOIC-8  
MOD1 = LTS 25-NP, bedrade module, firma LEM  
MOD2 = TMR 1-1211, SIP-Module, Traco Power

### Diversen:

K1 = tweepolige printkroonsteent, steek 0,2"  
K2,K3 = 6,35 mm vlakke Faston-tong, gat 3,3 mm, bijv. TE Connectivity 42822-2  
K2,K3 = 6,35 mm vlakke Faston-steker, blauw, voor 2,5 mm<sup>2</sup> litze  
K4...K6 = 3 x tweepolige pinheader, steek 0,1"  
K4...K6 = alleen 1 x tweepolige busheader, steek 0,1"  
S1,S2 = schuifschakelaar, haaks, 1 x om, 100 mA, bijv. OS102011MA1QN1  
BNC-chassisdeel (zie tekst)  
voedingsconnector chassisdeel, 2,1 mm, geïsoleerd  
banaanstekkerbus, rood, 4 mm, geïsoleerd, 30 A, bijv. Cliff Electronic FCR14461  
banaanstekkerbus, zwart, 4 mm, geïsoleerd, 30 A, bijv. Cliff Electronic FCR14460  
behuizing Hammond 1455K1201, 78x123x43 mm  
litzedraad, 5 cm, 2,5 mm<sup>2</sup>, rood  
litzedraad, 5 cm, 2,5 mm<sup>2</sup>, zwart  
litzedraad voor K1 en BNC-bus  
4 x M3 onderlegging  
2 x afstandsbus, 10 mm, M3-schroefdraad  
netadapter 12 V gelijkspanning, ≥100 mA  
Print 150170-1 v1.1



# Project 2.0

## correcties, updates en brieven van lezers

### Jammer-alarm

Elektor september/oktober 2017, p. 18 (160453)

Om de gevoeligheid voor stoorzenders met zeer gering vermogen te vergroten, is het beslist noodzakelijk om de afstand tussen zender en ontvanger te vergroten. Ik heb de signaalgever plus zender in een kleine separate behuizing ingebouwd; voor de voeding dient een (instelbare) netadapter 9 V/1 A (9 V is voldoende). De afstand tot de ontvanger moet experimenteel worden vastgesteld (de schakeling dient nog net te functioneren); hoe groter de afstand, des te beter reageert de schakeling op stoorzenders. Ik heb het pulsinterval van de zender verkort tot 7 s.

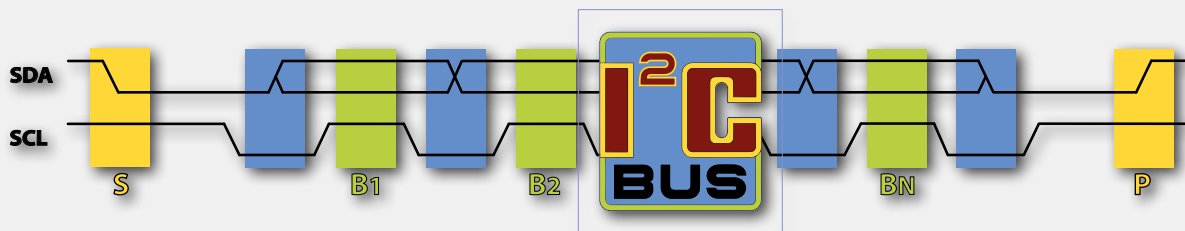
Walter Meyer

### De I<sup>2</sup>C-bus

Elektor mei/juni 2017, p. 42 (160095)

Elektor september/oktober 2017, p. 106 (160418)

Zoals ik onlang heb gemerkt, geldt voor de Raspberry Pi (resp. Raspbian) voor het zogenaamde 'clock stretching' een maximale duur van ongeveer 640  $\mu$ s (<http://raspihats.com/i2c-clock-stretching-timeout-on-the-raspberry-pi/>).



Ik had een ATmega (met daarop aangesloten een DHT22-sensor) als I<sup>2</sup>C-slave geprogrammeerd, en dacht na het adresseren in alle rust de data uit de DHT22 te kunnen uitlezen. De I<sup>2</sup>C-controller van de ATmega houdt de kloklijn namelijk zo lang laag tot het TWINT-bit wordt gereset. Maar dat duurde te lang! Het is weliswaar mogelijk dit direct in het timeout-register van de BCM2835 te veranderen (zie bovenstaande link), maar dat is geen algemene oplossing. Ik heb de operatie daarom in twee delen gesplitst: een schrijfoperatie (data wordt genegeerd) start het uitlezen en de vijf bytes worden tijdelijk in een buffer [in de ATmega, red.] opgeslagen. Ongeveer een seconde later kan die data dan zonder vertraging worden opgehaald.

Josef Möllers



### Dimbare buitenverlichting

Elektor mei/juni 2017, p. 74 (140574)

Ik heb geprobeerd dit project na te bouwen, maar dan met een Arduino. In principe werkt alles, maar niet goed. Waarschijnlijk komt dat door die moderne LED-spots waar achter de gelijkrichter een condensator is ingebouwd. Geweldig! De lampen flikkeren niet meer, maar ze kunnen ook niet worden gedimd. In het bereik 100%...20% gebeurt er niets, pas bij een duty cycle kleiner dan 10% is de lading niet meer groot genoeg en wordt het donkerder. En de trafo zoemt! Welke spots heeft de auteur gebruikt?

Mijn LED-lampen (drie verschillende typen, die alle dimbaar zouden moeten zijn) vertonen allemaal hetzelfde gedrag.

Peter Richter

De auteur antwoordt:

Zoals in het artikel beschreven, heb ik eerst geprobeerd of de lampen gedimd konden worden; pas daarna is de schakeling 'geboren'. Ik heb deze lampen gebruikt: 21-LED LARA rond, ijzer geborsteld, 2,8 W, artikelnummer LED55019WW.

Andreas Meyer

# De HP650A sinusgenerator (ca. 1948)

Van "oud ijzer" naar puntgave sinus



Figuur 1. Vooraanzicht van mijn exemplaar van de sinusgenerator HP650A, in werking!

Dr. ir. Martin Beusekamp (Nederland)

Tot mijn verzameling meetinstrumenten behoort een Hewlett-Packard sinusgenerator HP650A. Op de markt gebracht in 1948, maar gezien het relatief hoge serienummer (5793) zal het er om spannen wie er ouder is, het apparaat of ikzelf (bouwjaar 1954). Hoe het toestel werd verkregen, tot leven gewekt en zelfs verjongd, leest u hier.

Deze generator heb ik 1979 in defecte staat voor vijf gulden (= €2,27) gekocht van het bedrijf waar ik toen stage liep. De originele nieuwprijs was US\$475 in 1948, oplopend tot US\$550 een aantal (redelijk succesvolle) jaren later. Documentatie was er helaas niet bij, dus heb ik de fabrikant aangeschreven om hulp. Ja, gewoon, via een brief uit een typemachine, in een envelop met een postzegel er op. Zoek maar eens in een oud woordenboek op wat die termen betekenen. Ik was graag bereid geweest om een redelijke vergoeding te betalen voor een goede servicemanual, maar de firma HP had kennelijk plezier in iemand die wilde proberen een oud apparaat uit hun bedrijf weer nieuw leven in te blazen en stuurde mij gratis een originele manual. Die staat tegenwoordig voor de liefhebber natuurlijk gewoon op internet. De foto in **figuur 1** toont de generator in de huidige staat. Wat daaraan vooraf ging leest u hieronder.

## Opstarten maar

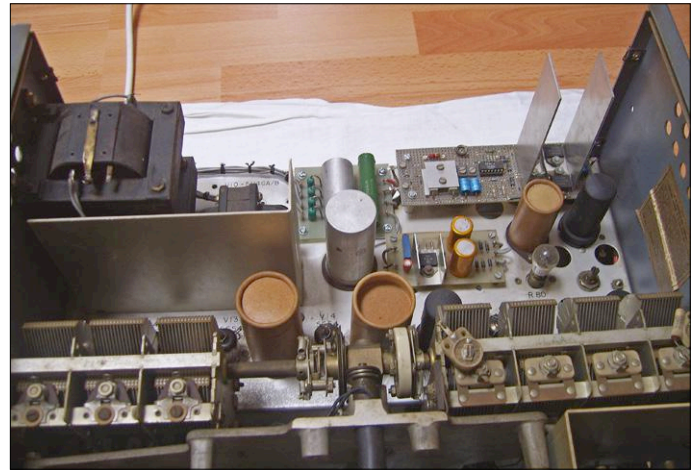
De eerste metingen, nu bijna 40 jaar geleden, toonden direct al aan dat de voedingstransformator de geest gegeven had. En het ging om een flinke jongen:  $2 \times 435 \text{ V}$  voor de anodespanning en vier gloeispanningswikkelingen. Drie aparte 6,3 V-wikkelingen van 2,5 A, nog eens 2,5 A en 1 A en een wikkeling van 5 V / 3 A. Die laatste wikkeling was alleen al nodig voor de dubbeldiode 5U4G, die de dubbelfasige hoogspanning samen met een elco moest gelijkrichten tot  $450 \text{ V}_{\text{DC}}$  in belaste toestand. Deze ongestabiliseerde anodespanning kwam dan eerst een smoorspoel van 6 H en een volgende flinke elco tegen. Daarna werd de spanning gestabiliseerd tot  $180 \text{ V}_{\text{DC}}$  bij een stroomopname van ruim 100 mA door twee parallel geschakelde buizen 6L6GB (~EL34), aangestuurd door een 6SQ7 en zijn referentie puttend uit een gasgevulde "zenerdiode" type 0A3 met koude kathode. Daarbij stond die ano-

despanningsstabilisatie alleen al dus

$$(450-180) \times 0,1 = 27 \text{ watt}$$

weg te poetsen, nog aangevuld met ruim 28 watt aan gloeivermogen voor eerdergenoemde buizen.

Nou is een zo specifieke voedingstransformator sowieso al moeilijk te vervangen (of opnieuw te wikkelen), maar zeker gezien het gigantische gedissipeerde vermogen in de voeding zocht ik naar een andere oplossing. Toevallig had ik nog twee identieke voedingstrafo's uit gesloopte buizenradio's liggen, die samen de gewenste spanningen en het benodigde vermogen wel konden leveren. De secundaire hoogspanning richt ik nu gelijk met siliciumdioden type BY127. De dikke smoorspoel van 6 H is gehandhaafd, maar de anodespanningsstabilisatie wordt nu verzorgd door een (gouwe ouwe) LM723 IC en vier parallel geschakelde transistoren type BU426A.



Figuur 2. Bovenaanzicht van de generator in originele staat. Links bovenaan de voedingstransformator, in mijn exemplaar helaas defect. Rechts daarvan de smoorspoel van 6 H (ja, henry). De zes buizen op de achterste rij behoren alle tot de voedingsstabilisatie. NB deze foto werd gemaakt, lang vóórdat bekend was dat er een Elektor-artikel gewent was!

Figuur 3. Bovenaanzicht van HP650A sinusgenerator na enige aanpassingen. Links boven de twee voedingstransformatoren uit sloopradio's, boven elkaar gemonteerd. De originele smoorspoel van 6 H is gehandhaafd, maar het rijtje van zes buizen, nog te zien in figuur 2, is verwijderd en vervangen door voedingschakelingen met transistoren en een IC. Direct rechts van het kleinste printje het beroemde 10-watt gloeilampje voor de amplitudestabilisatie (zie het kader **De roots van HP**).

In de oorspronkelijke schakeling van de oscillator hadden vijf buizen 5654 (~6AK5, ~EF95) een soort "gestabiliseerde" gloei-spanning, doordat hun gloeidraden werden gevoed uit 12,6 V<sub>AC</sub> (twee van de drie 6,3 V-wikkelingen in serie), in serie met een "ballastbuis" type 12-4 met een PTC-achtig karakter. Hoe groter de gloei-stroom wordt, hoe hoger de weerstand van deze ballastbuis en daardoor daalt de gloeistroom weer. Deze kwestie heb ik opgelost door de betreffende vijf buizen nu van gloei-spanning te voorzien via een

gestabiliseerde 6,3 V gelijkspanningsvoeding, wat tevens de bromeigenschappen van de betreffende buizen ten goede komt. Na deze revisie van de voeding werkte de sinusoscillator meteen weer als een zonnetje, zodat we eens kunnen kijken naar de rest van de schakeling.

### Twee oscillatoren

De HP650A is een pure sinusgenerator, dus geen functiegenerator die een sinus of iets dat daar op lijkt destilleert uit een driehoeksspanning of een blokgolf. Beter

gezegd: het betreffende apparaat bestaat uit twee volledig gescheiden oscillatoren. De stand van de techniek en de beschikbare componenten stonden aan het eind van de veertiger jaren nog niet toe om een generator te maken die over zes decaden (10 Hz – 10 MHz) — toch bijna twintig octaven — probleemloos werkte en binnen nauwe specificaties te brengen was. Voor de laagste vier decaden (10 Hz – 100 kHz) wordt een Wienbrugoscillator gebruikt, terwijl een oscillator met drie faseverschuivende RC-trappen wordt ingezet voor de hoogste twee decaden (100 kHz – 10 MHz, zie het kader **3 x 3 x 3 en een beetje**). Zelfs de voedingspanning voor beide oscillatoren wordt omgeschakeld met de schakelaar voor het frequentiebereik.

Tegenwoordig zouden we voor de fijnafstemming van de frequentie van een generator een (meervoudige) potentiometer gebruiken en voor iedere hogere frequentiedecade capaciteiten gebruiken die een factor tien kleiner zijn. In de HP650A gaat het precies andersom. De schakelaar voor de frequentiebereiken schakelt vaste weerstanden en de afstemming vindt plaats door draaicondensatoren, te zien op de voorgrond in **figuur 2** en **figuur 3**. Een belangrijke opmerking over figuur 2: deze toont de generator vóór aanvang van de restauratie en de foto werd gemaakt lang voordat ik door Jan Buiting werd gevraagd om dit artikel te schrijven. De resolutie van deze foto is derhalve veel minder

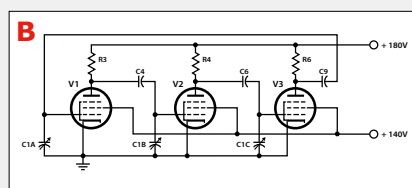
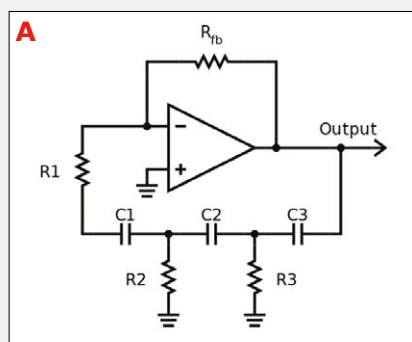
## 3 x 3 x 3 en een beetje

De oscillator voor de hoogste twee frequentiebereiken (100 kHz - 10 MHz) van de HP650A is een klassieke faseverschuivingsoscillator, bestaande uit een versterker met een negatieve versterkingsfactor en drie RC-leden die ieder zorgen voor ongeveer 60° fasedraaiing (zie figuur A).

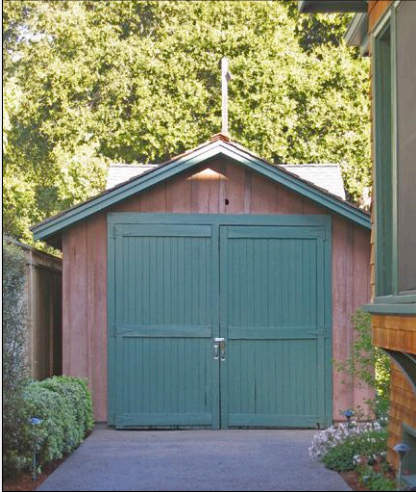
Echter, de versterker in een dergelijke oscillator moet -29 keer versterken, in dit geval zelfs recht tot 10 MHz en dat was eind veertiger jaren van de vorige eeuw niet goed realiseerbaar.

Vandaar dat gekozen is voor drie versterkende trappen, ieder met een versterkingsfactor van iets boven de 3 (zie figuur B).

Bijkomend voordeel van deze schakeling is dat iedere volgende RC-trap de vorige niet of nauwelijks belast.



## De roots van HP



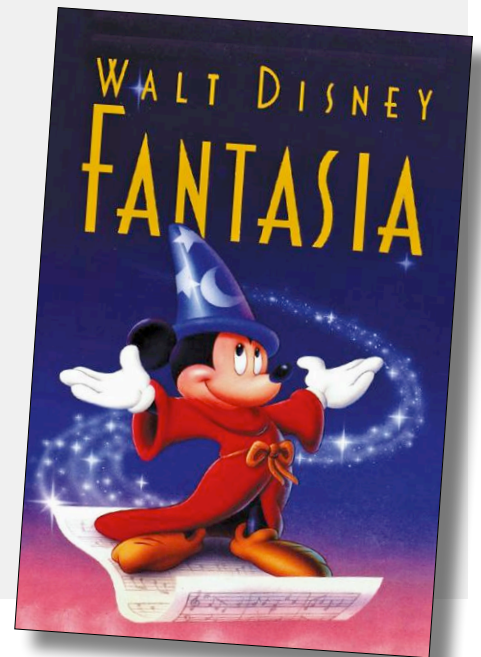
De "HP-garage" in Palo Alto staat algemeen bekend als de geboorteplaats van Silicon Valley. Foto: Jan Buiting

Een sinusoscillator voor het audiospectrum was het eerste product dat William ("Bill") Hewlett en David ("Dave") Packard in 1939 fabriceerden in een gehuurde garage in het dorpje Palo Alto, Californië. Een opgegooid muntje had bepaald dat hun bedrijfsnaam niet Packard-Hewlett zou

zijn, maar Hewlett-Packard. De bepalende innovatie in hun allereerste model, de HP200A, was het gebruik van een gloeilampje als temperatuursafhankelijke (en dus spanningsafhankelijke) weerstand in de amplitudestabilisatie van het gegenereerde signaal. Daarmee was de HP200A van minder dan US\$90 stabiel dan apparaten van de concurrentie die beduidend duurder waren. Ook de HP650A maakt gebruik van een gloeilampje als amplitudestabilisator, evenals de meeste nog veel jongere oscillatoren. Het eerste typenummer "200" is overigens willekeurig gekozen, maar mocht geen laag getal zijn. Dat zou verraden dat de heren Hewlett en Packard nog maar net kwamen kijken op de markt ... Meer over de HP200A vindt u in de Retrotronica-aflevering uit april 2014 [2].

Enkele kleine verbeteringen leidden tot het model HP200B, goed genoeg voor de studio van Walt Disney om er acht te kopen voor de geluidseffecten in de film *Fantasia*. Die film werd geen absolute kaskraker, maar dat

lag niet aan de sinusoscillatoren van HP. Het overvloedige gebruik van klassieke muziek, het wegvallen van de Europese markt vanwege de Tweede Wereldoorlog en het feit dat een bioscoop moest beschikken over een "surround-sound" audio-installatie om de geluidseffecten tot hun recht te laten komen, stonden een groter succes in de weg.



dan de huidige standaard voor afdrucken in een blad.

De drie secties links op de foto's zijn de drie fasedraaiende condensatoren in de hoogfrequentoscillator (zie weer het kader), 603 pF per sectie volgens de manual. De vier secties rechts staan twee aan twee parallel. Met 535 pF per sectie ontstaan daardoor dus twee variabele condensatoren van 1,07 nF voor de laagste vier frequentiebereiken.

Na de beide oscillatoren volgt nog een eindversterker met drie buizen om de maximale uitgangsspanning van 3 V<sub>eff</sub> aan de uitgang te kunnen leveren. Een versterker bouwen met een absoluut rechte overdracht tussen 10 Hz en 10 MHz (volgens de specificaties binnen 1 dB) is nu al geen sinecure, een kleine zeventig jaar geleden was het bijna onmogelijk. Van de gebruikte buizen in de eindtrap worden de parasitaire eigenschappen in het frequentiedomein echter zo goed mogelijk gecompenseerd doordat alle anode- en kathode-"weerstanden" zijn uitgevoerd als netwerkjes van weerstanden, spoeltjes van enkele

µH en condensatortjes (sommige uitgevoerd als trimmer). Met een maximaal uitgangsvermogen van 15 mW (3 V in 600 Ω) kunnen we wel zeggen dat het uit het lichtnet opgenomen vermogen van 165 watt (in de originele uitvoering) voornamelijk dient om de omgeving van het apparaat aangenaam te verwarmen.

### Voltmeter inbegrepen

Vanzelfsprekend wil de gebruiker wel precies weten hoe hoog de uitgangsspanning van zijn sinusoscillator is. Vandaar dat de HP650A ook is voorzien van een heuse buisvoltmeter met schalen in mV/V én in dB. Vanwege de opbouw van de uitgangsverzwakker is de uitlezing van die buisvoltmeter alleen nauwkeurig indien de oscillator met zijn karakteristieke impedantie van 600 Ω wordt belast. Standaard heb ik dan ook twee weerstanden van 330 Ω en 270 Ω in serie aan de uitgangsklemmen hangen.

### Kom maar op, DDS

Na de beschreven revisie beschik ik nu al ruim 38 jaar over een sinusgenera-


tor die in het buizentijdperk is ontworpen, ontwikkeld en gefabriceerd, maar nu behalve met buizen (na de sloop van zes buizen in de originele voeding nog elf stuks over) functioneert met een aantal transistoren en een enkel IC. Die werken samen "in perfect harmony" en produceren sinussen tot 10 MHz met beduidend minder vervorming dan veel functiegeneratoren. ◀

(160621)

### Weblink

[1] [www.hparchive.com/Manuals/HP-650A-Manual.pdf](http://www.hparchive.com/Manuals/HP-650A-Manual.pdf)

[2] [www.elektormagazine.nl/130423](http://www.elektormagazine.nl/130423)

FROM THE STORE  
→ SKU 16033  
e-book 'retrotronica'



ELEKTOR ETHIEK

# Internetcensuur tijdens het Catalaanse referendum en hoe die omzeild werd



Demonstratie in Barcelona tijdens de algemene staking op 3 oktober 2017 (Foto: Ernest CS, CC BY-SA 4.0-licentie.)

De dag voor het onafhankelijkheidsreferendum in Catalonië wordt het ICT-centrum van de Catalaanse overheid binnengevallen en bezet door de Spaanse politie. Met het platleggen van de IT-hub wordt de officiële internetinfrastructuur die het referendum had moeten faciliteren grotendeels uitgeschakeld. Met een alternatief systeem, gebouwd en in de lucht gehouden door vrijwillige technische experts, en draadloze internetverbindingen van duizenden burgers, kan er op 1 oktober 2017 toch worden gestemd.

**Tessel Renzenbrink** (Nederland)

In de weken rond het referendum in Catalonië maakte de Spaanse overheid zich op grote schaal schuldig aan internetcensuur. Met de censuur legde de overheid de vrije toegang tot informatie aan banden door te beperken wat gepubliceerd en ingezien kon worden op het internet. De verschillende censuurmethoden, en hoe deze door burgers en de Catalaanse regering omzeild werden, zijn in kaart gebracht door maatschappelijk activist en Linux-programmeur Matthias (achternaam niet bekend). Hij presenteerde zijn bevindingen op het 34<sup>e</sup> Chaos Communication Congress (CCC), de jaarlijkse Duitse hackerconferentie die van 27 tot 30 december 2017 plaatsvond in Leipzig. [1]

## **.cat-domeinen van het web verwijderd**

De censuur begint met de inbeslagname van de officiële website voor het referendum [www.referendum.cat](http://www.referendum.cat) op 13 september, vertelt Matthias. De inhoud van de site is niet langer zichtbaar

maar toont de boodschap dat de domeinnaam is overgenomen door de Spaanse autoriteiten. In de dagen die volgen worden ook andere referendum-gerelateerde .cat-sites zoals [www.ref10oct.cat](http://www.ref10oct.cat) in beslag genomen. (Het internetdomein .cat is niet gewijd aan kattenplaatjes maar aan de Catalaanse taal en cultuur.) Het beheer van het .cat-domein is in handen van de stichting Fundació puntCAT.

In totaal ontvangt de stichting drie gerechtelijke bevelen met een steeds langer wordende lijst van websites die zij uit de lucht dient te halen. Naast specifieke websites wordt de stichting ook bevolen om 'alle domeinen die enige informatie over het referendum bevatten' te blokkeren. Dit betekent dat Fundació puntCAT wordt belast met het actief monitoren van alle .cat-websites. Dit is een buitengewone en waarschijnlijk onwettige eis omdat de stichting als top-level domeinoperator slechts tot taak heeft .cat-domeinnamen te registreren. Het is te vergelijken met de situatie dat Verisign, de beheerder van het .com-domein, verantwoordelijk zou worden gehouden voor de inhoud van elke .com-website op het net.

Op 20 september wordt het online-gevecht in de fysieke wereld

verder uitgespeeld. De politie valt het kantoor van Fundació puntCAT binnen. Computers worden in beslag genomen en de technisch directeur wordt gearresteerd. Hem wordt onder meer het corrumpen van de rechtsgang en ongehoorzaamheid ten laste gelegd.

### Laat honderd sites bloeien

In reactie op de inbeslagname van *referendum.cat* springen overal op het web *mirror sites* op (websites die dezelfde inhoud tonen, maar met een ander internetadres), vervolgt Matthias zijn verhaal. Ook die probeert de Spaanse overheid van het web te weren. Meerdere .cat-sites worden in beslag genomen. Voor mirrors met domeinextensies als .eu of .org is dat moeilijker omdat die vaak buiten de Spaanse jurisdictie worden beheerd. Deze werden geblokkeerd door grote Internet Service Providers (ISP's) als Telefónica, Vodafone en Orange. (Sommige kleine onafhankelijke ISP's werken niet mee aan de blokkade.) Sites werden geblokkeerd door middel van *DNS tampering*: een methode waarbij de Domain Name System-server domeinnamen niet in het juiste numerieke IP-adres vertaalt. Telefónica zet ook *deep packet inspection* in, een een af luister technologie waarbij datapakketjes worden geanalyseerd en — als ze voldoen aan bepaalde criteria — worden gefilterd.

De blokkades konden redelijk eenvoudig worden omzeild. Catalaanse burgers en politici lieten via sociale media weten hoe informatie toch via het web kon worden benaderd. DNS tampering kan bijvoorbeeld worden ontlopen door een publieke DNS-server te gebruiken in plaats van die van de ISP.

### Vliegtuigmodus! Vliegtuigmodus!

Met de inval in de regionale IT-dienst op 30 september wordt ook de fysieke internet-infrastructuur onderworpen aan censuur. Het Centrum voor Telecommunicatie en Informatietechnologie (CTTI) is belast met het verzorgen van internetverbindingen in publieke gebouwen als scholen en stadhuizen.

Het soort gebouwen dus waar stembureaus in gevestigd zijn. Op de dag van het referendum melden veel stemlokalen problemen met hun internetverbinding. Sommigen kunnen helemaal geen verbinding maken, andere melden dat WiFi of juist de kabel niet werkt. Tenslotte zijn er ook bureaus waar delen van het internet niet bereikbaar zijn.

Ook hier slaan burgers weer de handen ineen om de stemgang mogelijk te maken. Buren stellen hun WiFi-verbinding open zodat de bureaus het online-stemsysteem kunnen bereiken. Voor de deuren van de stemlokalen staan honderden burgers om te voorkomen dat de politie de boel zal sluiten. Zij scanderen regelmatig '*vliegtuigmodus!*'. Een oproep om de de 4G-netwerken van mobiele telefoons niet te gebruiken zodat alle beschikbare bandbreedte gebruikt kan worden om te stemmen.

### Ondergrondse digitale infrastructuur

Enkele uren voor de aanvang van het referendum op 1 oktober roept de Catalaanse regering een universele census uit. Dat wil zeggen dat stemgerechtigden in elk stemlokaal mogen stemmen en niet gebonden zijn aan het bureau in hun wijk. Dit blijkt ook nodig want de Spaanse politie sluit hardhandig verschillende stembureaus. Om de universele census mogelijk



Tekst op inbeslaggenomen websites (publiek domein).



Demonstratie tijdens de nationale 'dag voor ja'. Barcelona 11 september 2017. (Foto: Medol. CC BY-SA 4.0-licentie.)

te maken is er een systeem nodig dat voorkomt dat één persoon meerdere keren kan stemmen. Dit systeem bestaat uit een simpele database waarin wordt bijgehouden wie gestemd heeft. De universele census was een goed bewaard geheim dat al geruime tijd in de maak was. Hackers waren al weken in de weer om de digitale infrastructuur te bouwen die nodig was om de census mogelijk te maken. In een interview met de Catalaanse nieuwssite Vilaweb vertelt één van de hackers (die anoniem wil blijven) hoe dat in zijn werk ging: 'Het schrijven van een stemprogramma is onder normale omstandigheden relatief simpel. Maar het ontwijken van de censuur en repressie van de Spaanse overheid maakte dat het van een totaal andere orde was. Maar het is ons gelukt om de inspanningen van die formidabele tegenstander te verstoren dankzij Tor, Signal, anonieme telefoons, Linux, Bitcoin en open source-software. En natuurlijk het werk en de verbeeldingskracht van een groot aantal hackers die alles gegeven hebben om dit mogelijk te maken.'

Om acht uur 's ochtends ging het systeem de lucht in op *registremeses.com*. 'Het domein was binnen 15 minuten geblokkeerd', vertelt de anonieme hacker. 'Ze blokkeerden zelfs alle IP-adressen — allemaal! — van een bekende Europese provider. Dat raakte duizenden services die niets te maken hadden met het referendum. Dat is willekeurige censuur in zijn zuiverste vorm. Maar elke keer als zij iets deden, kwamen wij met een reactie. Voor elk IP-adres dat ze blokkeerden, lanceerden mijn collega's twee nieuwe.'

Ondanks de tegenwerking houdt het census-systeem gedurende de dag stand. Uiteindelijk hebben 2,2 miljoen van de 5,5 miljoen stemgerechtigden gestemd. Ruim negentig procent stemde voor de onafhankelijkheid. 'Het belangrijkste is', concludeert Matthias zijn presentatie op het Chaos Communication Congress, 'dat de internetcensuur en de repressie het referendum niet heeft kunnen stoppen'. ◀

(160623)

### Weblinks

- [1] Een video-opname van Matthias' presentatie is te zien op: [https://media.ccc.de/v/34c3-9028-internet\\_censorship\\_in\\_the\\_catalan\\_referendum](https://media.ccc.de/v/34c3-9028-internet_censorship_in_the_catalan_referendum)
- [2] [www.vilaweb.cat/noticies/the-hackers-who-made-possible-a-universal-electoral-register-for-the-referendum/](http://www.vilaweb.cat/noticies/the-hackers-who-made-possible-a-universal-electoral-register-for-the-referendum/)



# welkom in je WEB STORE

TIP VAN DE REDACTIE



## Pi Desktop-Kit

De Raspberry Pi wordt in zijn blootje geleverd maar, vroeger of later, zal de gebruiker hem toch moeten aankleden met een kastje. Gelukkig is er een ruime keuze in passende behuizingen. Op het eerste gezicht lijkt de hier gepresenteerde Pi Desktop ook in de categorie van behuizingen te vallen, maar hij biedt toch wel iets meer dan alleen een jasje voor de Raspberry Pi. De Pi Desktop-kit vergemakkelijkt het om van een gewone Raspberry Pi een echte computer te maken: universeel, met maximaal 1 Tb aan massageheugen en met een softwarebestuurde aan/uitknop. RPi 2 of 3? Dat maakt niet zoveel uit. De Pi wordt ook niet meegeleverd in de kit: u kiest zelf welke Raspberry het moederbord van uw desktopcomputer gaat vormen.

Denis Meyer  
(Elektor Labs)



[www.elektor.nl/rpi-desktop-case](http://www.elektor.nl/rpi-desktop-case)

## Elektor Bestsellers

1. HDMI/AV Digital Microscope  
ADSM302

[www.elektor.nl/adsm302](http://www.elektor.nl/adsm302)



2. The Official ESP32 Book

[www.elektor.nl/esp32-book](http://www.elektor.nl/esp32-book)

3. Anet A6 3D Printer

[www.elektor.nl/anet-3d-printer](http://www.elektor.nl/anet-3d-printer)

4. Electronic Circuits for All

[www.elektor.nl/electronic-circuits](http://www.elektor.nl/electronic-circuits)

5. 10" Touch Display voor RPi

[www.elektor.nl/10-touch-display-rpi](http://www.elektor.nl/10-touch-display-rpi)

6. Motor Control Projects

[www.elektor.nl/motor-control-projects](http://www.elektor.nl/motor-control-projects)

7. Peltier Lamp

[www.elektor.nl/peltier-lamp](http://www.elektor.nl/peltier-lamp)

## DVD Elektor 2017

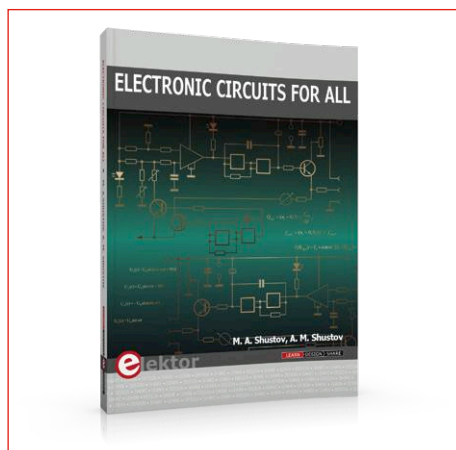


Deze DVD bevat alle artikelen uit de Nederlandse, Duitse, Engelse en Franse uitgaven van 2017. U kiest zelf de taal die u wenst. Via de meegeleverde Adobe Reader worden de artikelen gepresenteerd in de layout van het tijdschrift Elektor. Het uitgebreide zoekstelsel maakt het mogelijk om op trefwoord te zoeken. TIP: Maak uw collectie compleet en bestel ook eerder verschenen jaargangen!

Ledenprijs: € 24,75

[www.elektor.nl/dvd-elektor-2017](http://www.elektor.nl/dvd-elektor-2017)

## Electronic Circuits for All

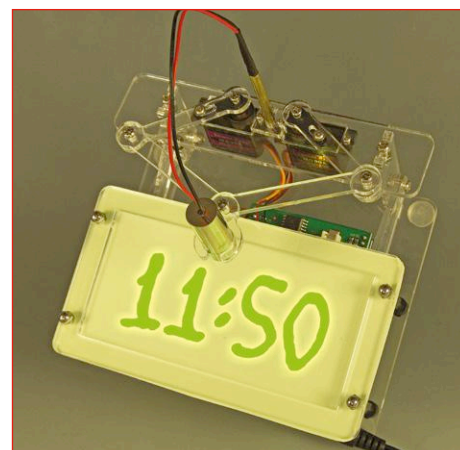


Dit (Engelstalige) boek bevat meer dan 400 eenvoudige elektronische schakelingen. De hoofdstukken van het boek zijn toegespitst op vermogenselektronica en meetapparatuur en bevatten talrijke originele circuits van generatoren, versterkers, filters, elektronische schakelaars op basis van thyristoren en CMOS-schakelementen. Ook bedrade en draadloze systemen en beveiligings- en veiligheidssystemen komen aan bod.

Ledenprijs: € 35,95

[www.elektor.nl/electronic-circuits](http://www.elektor.nl/electronic-circuits)

## Laser Time Writer

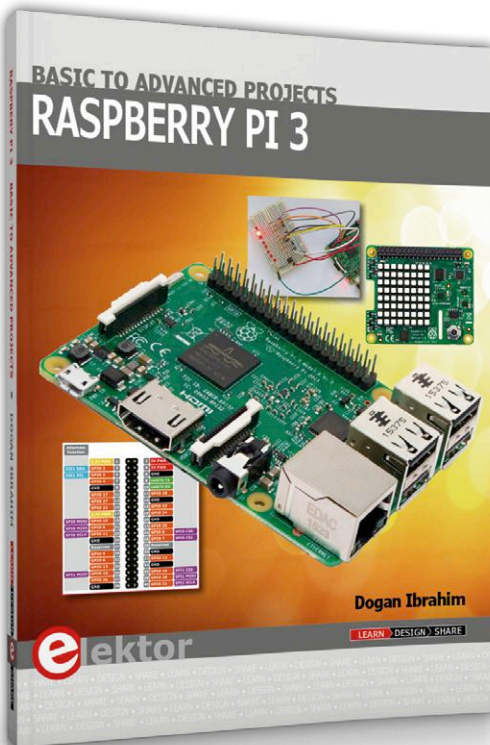


Dit is een variant op de eerder uitgebrachte zandklok van Elektor. In plaats van de tijd te schrijven in een laagje zand, maakt het gebruik van een lasermodule om de tijd te plotten op een vel 'glow-in-the-dark' stickermateriaal. De upgrade-kit bevat alle vereiste onderdelen: alle acrylaat-onderdelen samengevoegd in een voorgesneden plaat, glow-in-the-dark stickermateriaal, lasermodule, drukknop en bedrading, messing afstandhouder en klein bevestigingsmateriaal.

Ledenprijs: € 40,46

[www.elektor.nl/laserclock](http://www.elektor.nl/laserclock)



**nieuw**

# Raspberry Pi 3

## Basic to Advanced Projects

Dit boek gaat over de Raspberry Pi 3 computer en het gebruik ervan in verschillende besturings- en controletoeepassingen. Het boek legt in eenvoudige bewoordingen en met meer dan 30 geteste en werkende projecten uit hoe u de Raspberry Pi 3-computer configureert, hoe u het Linux-besturingssysteem installeert en gebruikt en hoe u hardware gebaseerde programma's kunt schrijven met de programmeertaal Python. Het leuke van dit boek is dat het vele Raspberry Pi 3 gebaseerde hardware projecten bevat met de nieuwste modules zoals de Sense HAT, Swiss Pi, MotoPi, Camera module, en vele andere state of the art analoge en digitale sensoren.



**LEDENPRIJS: Tijdelijk slechts € 29,95**  
[www.elektor.nl/rpi-basic-advanced-projects](http://www.elektor.nl/rpi-basic-advanced-projects)

### Motor Control Projects with Arduino and RPi



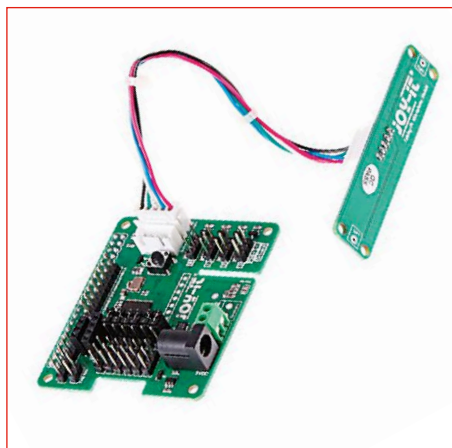
Dit (Engelstalige) boek gaat over DC elektromotoren en hun gebruik in Arduino en Raspberry Pi Zero W projecten. De projecten in het boek hebben betrekking op de standaard DC-motoren, stappenmotoren, servomotoren en mobiele robots. Het boek is geschikt voor studenten, hobbyisten en iedereen die geïnteresseerd is in het ontwikkelen van microcontroller projecten met de Arduino Uno of de Raspberry Pi Zero W.



Ledenprijs: € 29,66

[www.elektor.nl/motor-control-projects](http://www.elektor.nl/motor-control-projects)

### Talking Pi



Talking Pi is een intelligente en universele open source spraakbesturing assistent voor de Raspberry Pi. De uitbreidingsmodule is compatibel met Google Home / AIY-project. Door middel van een spraakcommando's kunt u bijvoorbeeld bij thuiskomst de verlichting, contactdozen of de koffiemachine eenvoudig in- of uitschakelen. Met deze module kunt uw fantasie grenzeloos gebruiken!



Ledenprijs: €31,46

[www.elektor.nl/talking-pi](http://www.elektor.nl/talking-pi)

### The official ESP32 Book



Dit (Engelstalige)boek is een introductie van de ESP32 microcontroller van Espressif Systems en beschrijft de belangrijkste hardware- en software functies van deze chip. De nieuwe ESP32 heeft dezelfde functionaliteiten als de populaire ESP8266 microcontroller, maar is uitgebreid met onder andere bluetooth, hogere CPU-snelheid, sensoren, busverbindingen en beveiligingsfuncties. In het boek leer je hoe je ESP32 hardware en software gebruikt in praktische projecten.



Ledenprijs: € 31,46

[www.elektor.nl/esp32-book](http://www.elektor.nl/esp32-book)

# Hexadoku puzzelen voor elektronici

PC, oscilloscoop en soldeerbout kunnen weer even op adem komen terwijl u uw hersenen pijnigt met onze Hexadoku. De instructies voor deze puzzel zijn heel eenvoudig. De Hexadoku werkt met de hexadecimale getallen 0 t/m F, helemaal in de stijl van elektronici en programmeurs.

De instructies voor deze puzzel zijn heel eenvoudig. De Hexadoku werkt met de hexadecimale getallen 0 t/m F, helemaal in de stijl van elektronici en programmeurs. Vul het diagram van 16 x 16 hokjes zodanig in dat **alle** hexadecimale getallen van 0 t/m F (dus 0...9 en A...F) precies eenmaal voorkomen in elke rij, in elke kolom en in elk vak

van 4x4 hokjes (gemarkeerd door de dikkere zwarte lijnen). Een aantal getallen is in de puzzel al aangegeven en deze bepalen de uitgangssituatie voor de puzzel. Onder de inzenders met de goede oplossing verloten we vijf waardebonnen. Om mee te dingen naar een van deze prijzen dient u de getallen in de grijze vakjes naar ons op te sturen.



**Doe mee en win!** Onder de internationale inzenders met het juiste antwoord verloten we **vijf Elektor-waardebonnen**, elk ter waarde van **50 Euro**.

Het is dus zeker de moeite waard om mee te doen!

Stuur uw antwoord (de getallen in de grijze hokjes) **vóór 23 maart 2018** naar: [hexadoku@elektor.nl](mailto:hexadoku@elektor.nl)

## De prijswinnaars

De juiste oplossing van de Hexadoku uit het januari/februari-nummer is: **7164C**.

De Elektor-waardebonnen van 50 Euro zijn gewonnen door Artigue Francis (Frankrijk), Joe Young (Canada), Jean-Paul Winberg (België), Miguel Án. Gimeno (Spanje) en Ursula Kronberger (Duitsland).

Allemaal van harte gefeliciteerd!

C	3				E	8			9	2		B	A	F			
6	7	9	F				1				4			E	0	2	
	8			2		C	F	D							6	9	
	1			9	6				F							C	
		F	7	1	D				C							3	
A			8	3	4				E							0	
1		6					C			A	3	E				F	
	C	E				0	5	7							2		
		0					2	8	A						7	E	
B			2	8	F			3							6	5	
E						7				9	1	2				3	
	F					5				7	0	9	C				
F						1				6	7					D	
2	E						0	A	1		9					C	
5	D	1			E				B					4	0	8	6
	6	8	C		9	4			3	E						2	A

6	7	9	B	C	2	A	0	5	8	D	4	1	F	E	3		
8	3	4	A	1	F	5	B	E	0	6	C	9	2	7	D		
1	2	5	C	3	8	D	E	7	B	F	9	0	4	6	A		
D	F	E	0	4	6	7	9	1	A	2	3	5	8	B	C		
9	5	F	D	2	7	1	6	4	C	8	B	3	0	A	E		
7	8	B	E	5	A	C	D	9	1	3	0	4	6	F	2		
0	A	C	2	8	3	B	4	6	D	E	F	7	1	9	5		
3	1	6	4	9	E	0	F	A	7	5	2	8	D	C	B		
2	B	0	7	6	9	4	1	8	3	C	E	A	5	D	F		
A	4	3	1	E	5	F	C	D	9	7	6	2	B	8	0		
C	9	D	F	7	0	8	A	2	4	B	5	6	E	3	1		
5	E	8	6	B	D	2	3	0	F	A	1	C	7	4	9		
B	6	A	5	F	1	9	2	C	E	4	8	D	3	0	7		
4	D	1	3	A	C	E	8	B	2	0	7	F	9	5	6		
E	0	7	9	D	4	3	5	F	6	1	A	B	C	2	8		
F	C	2	8	0	B	6	7	3	5	9	D	E	A	1	4		

Medewerkers van Elektor International Media en hun familieleden zijn van deelname uitgesloten.



## Wat wilde u worden toen u jong was?

Dankzij uw ambitie heeft u toegang tot de razendsnel veranderende wereld van engineering. En uw ideeën vormen de toekomst. Maar om te doen wat u het beste doet, heeft u tijd nodig om zich te concentreren op wat echt belangrijk is.

Wij helpen klanten al 80 jaar hun doelen te bereiken met ons uitgebreide aanbod procesautomatiserings-, onderhouds- en elektronica-producten, en op u afgestemde services.

We're here

for the **inspired**

# KCS

Elektronica R&D



Een goed productidee ...  
maar hoe nu verder?

KCS wil u adviseren en begeleiden. Vanaf concept, R&D, hardware, software, mechanisch ontwerp, prototype tot en met de serieproductie.

Maak gebruik van onze 30 jaar aan kennis en ervaring, in welke fase u ook verkeert met uw product.

Interesse? Neem vrijblijvend contact met ons.